

التلوث المائي

مصادره . مخاطره . معالجته

الدكتور

عادل مشعان ربيع

الدكتور

حارث جبار فهد



بسم الله الرحمن الرحيم

(وجعلنا من أطاء كل شيء حي أقلل يؤمنون)

صدق الله العظيم

الآية 30 من سورة الأنبياء

التلوث المائي

مصادره، مخاطره، معالجته

التلوث المائي

مصادره، مخاطره، معالجته

تأليف

د. حارث جبار فهد د. عادل مشعان ربيع

الطبعة الأولى

2011 م - 1432 هـ



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2008/8/2695)

363.73

فهد، حارث

التلوث المائي: مصادره، مخاطره، معالجته / حارث جبار فهد، عادل

مشعان ربيع، - عمان: مكتبة المجتمع العربي، 2008

() ص.

ر.أ.: 2008/8/2695

الواصفات: / التلوث المائي // مكافحة التلوث /

• أعدت دائرة المكتبة الوطنية بيانات القهرسة والتصنيف الأولية

جميع حقوق الطبع محفوظة

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو أي جزء منه أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات أو نقله بأي شكل من الأشكال، دون إذن خطي مسبق من الناشر

عمان - الأردن

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means without prior permission in writing of the publisher.

الطبعة العربية الأولى

2011م - 1432هـ



مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

عمان - وسط البلد - ش. السلط - مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان - ش. الملكة رانيا العبد الله - مقابل كلية الزراعة -

مجمع زهدي حصوة التجاري

www: muj-arabi-pub.com

Email: Moj_pub@hotmail.com

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
التقديم.....	13
الفصل الأول	
الماء سر الحياة	
مقدمة.....	17
ما هو الماء.....	18
اهمية الماء.....	22
خصائص الماء الفريدة.....	26
1. الماء كمذيب.....	26
2. التماسك والتلاصق.....	29
3. الاستقرار الحراري المثالي.....	31
4. منحني الكثافة الفريد.....	36
5. المقاومة والشفافية للضوء.....	38
6. تآين والأس الهيدروجيني.....	38
7. خصائص أخرى.....	39
الفصل الثاني	
الماء في دورة مستمرة	
الدورة المائية.....	43
توزيع الماء على سطح الأرض.....	47
البيئة البحرية.....	48
المياه العذبة السطحية.....	52

57	المياه الجوفية والينابيع.....
----	-------------------------------

الفصل الثالث

مصادر تلوث المياه

61	تلوث الماء.....
63	مصادر تلوث الماء.....
63	1. مصادر التلوث المنزلية.....
65	2. المصادر الصناعية.....
68	1. مركبات حامضية وقلوية.....
69	2. مركبات النترات والفوسفات.....
69	3. المعادن الثقيلة.....
70	4. الحديد والمغنيسيوم والكلوريد.....
70	5. مركبات عضوية.....
70	6. الهالوجينات.....
70	7. المواد المشعة.....
71	8. الأمطار الحامضية.....
72	9. التلوث الحراري.....
74	3. المصادر الزراعية.....
74	1. فضلات حيوانات المزرعة.....
75	2. التلوث بالمبيدات.....
75	3. التلوث بالأسمدة الكيميائية الزراعية.....
76	ما هي الأملاح الغذائية.....

الموضوع	رقم الصفحة
ظاهرة الإثراء الغذائي.....	77
ما هي الطحالب.....	78
تأثيرات ظاهرة الإثراء الغذائي.....	80
انفط مصدر للتلوث.....	81
التأثير على الهائمات النباتية.....	84
التأثير على الرخويات والقشريات.....	84
التأثير على الأحياء الأخرى والطيور.....	84
الفصل الرابع	
الأحياء المجهرية في البيئة المائية	
النظام البيئي المائي.....	89
مياه الشرب مصدراً للتلوث.....	89
الأحياء المجهرية في البيئة المائية.....	90
1. الأحياء المجهرية في المياه العذبة.....	90
2. الأحياء المجهرية في مياه البحر.....	91
العمليات المايكروبية في رواسب القاع.....	93
العوامل المؤثرة في نمو الأحياء المجهرية.....	95
العوامل اللاحياتية.....	95
1. الطاقة الضوئية.....	95
2. درجة الحرارة.....	96
3. حركة المياه.....	97
4. الضغط.....	97
5. حامضية الماء.....	97
6. الملوحة.....	98

الموضوع	رقم الصفحة
7. المواد العضوية الأخرى.....	99
8. الغازات.....	100
9. المواد العضوية.....	101
العوامل الحياتية.....	102
1. التنافس.....	102
2. التعاون.....	102
3. الافتراس.....	103
4. التطفل.....	103
مجموعات الأحياء المجهرية في الماء.....	104
أولاً: البكتيريا.....	105
1. البكتيريا المقيمة.....	106
بكتيريا البناء الضوئي.....	106
أولاً: البكتيريا الأرجوانية.....	107
1. بكتيريا الكبريت الأرجوانية.....	107
2. البكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية.....	108
ثانياً: البكتيريا الخضراء.....	109
1. بكتيريا الكبريت الخضراء (Chlorobiaceae).....	109
2. البكتيريا الخضراء غير الكبريتية (Chloroflexaceae).....	109
ثالثاً: أخرى.....	110
البكتيريا مختلفة التغذية.....	113
2. البكتيريا الدخيلة.....	113
بكتيريا المياه الفقيرة بالمواد المغذية.....	114
الجنس (Caulobacter).....	115
الجنس (Hyphomicrobium).....	118
البكتيريا المتألقة (المضيئة).....	119

الموضوع	رقم الصفحة
ثانياً: الفطريات.....	120
ثالثاً: السيافوبكتيريا.....	121
رابعاً: الطحالب.....	123
خامساً: الابدائيات.....	125
الفصل الخامس	
الأحياء الممرضة المتواجدة في المياه	
ماهو الكائن الممرض.....	129
أولاً: البكتيريا.....	129
بكتيريا القولون (Escherichia coli).....	130
بكتيريا السالمونيلا (Salmonellae).....	132
عصيات الشيغلا (Shigellae).....	135
بكتيريا الكوليرا (Vibrio cholerae).....	137
بكتيريا (Campylobacter).....	139
بكتيريا (Leptospira interrogans).....	140
ثانياً: الفايروسات.....	142
فايروس انفلونزا الطيور.....	144
الفايروسات المعوية (Enteroviruses).....	145
مجموعة فايروسات التهاب الكبد.....	147
فايروسات الروتا (Rotaviruses).....	150
فايروس متلازمة نقص المناعة المكتسبة (الإيدز).....	151
ثالثاً: الابدائيات.....	151
Entamoeba histolytica.....	152

156	Giardia duodenalis.....
159	رابعاً: الفطريات.....

الفصل السادس

معالجة مياه الفضلة

163	ما هي الفضلة؟.....
163	أنواع مياه المجاري.....
164	عملية تطهير المجاري.....
165	لماذا تخضع مياه المجاري للتنقية؟.....
165	ما هي الأهداف الرئيسية لعملية معالجة مياه الفضلة؟.....
166	ما هي طرائق معالجة مياه الفضلة؟.....
166	ما هي المراحل النموذجية لمعالجة مياه المجاري؟.....
172	التطهير (Disinfection).....
174	الطرائق الحياتية لمعالجة مياه الفضلة.....
175	أولاً: الطرائق الطبيعية.....
175	التنقية في التربة.....
176	مرشحات التربة.....
177	برك مياه الفضلة.....
177	ثانياً: الطرائق الصناعية.....
177	مرشحات الوشل.....
180	الحماة المنشطة.....
180	طرائق متقدمة لمعالجة مشكلة التلوث بالعناصر الثقيلة.....

الموضوع	رقم الصفحة
التناقد العكسي.....	182
الترسيب.....	182
التبادل الأيوني.....	183
الادمصاص.....	183
الخلايا الكهروكيميائية.....	183
دور الأحياء المجهرية في إزالة العناصر الثقيلة.....	184
الامتزاز الحياتي.....	185
التراكم الحياتي.....	186
الجدار الخلوي ودوره في الامتزاز الحياتي.....	187
آليات الامتزاز الحياتي.....	192
العوامل المؤثرة في الامتزاز الحياتي.....	196
نظام متعدد الأيونات.....	199
طرائق الامتزاز.....	200
1 نظام الدفعة الواحدة.....	200
2. نظام الجريان المستمر.....	200
تقنية تقييد الخلايا.....	201
المواد وطرائق التقييد.....	202
أولاً: الطرائق الفيزيائية.....	202
ثانياً: الطرائق الكيميائية.....	202
البكتيريا كدليل على التلوث بمياه المجاري.....	207

الفصل السابع

المحافظة على البيئة المائية

211	تضافم أزمة المياه.....
215	جهود دولية.....
222	التعاون والاتفاقيات على المستويين الدولي والإقليمي في مجال المياه....
225	جهود أخرى.....
225	1. نشر التوعية البيئية.....
226	2. دور أكبر للمنظمات البيئية.....
227	3. تشريعات حكومية صارمة.....
227	4. الدفع باتجاه استخدام تقنيات حديثة.....
228	5. حماية أكبر للمصادر المائية غير الملوثة.....
228	6. تكثيف الدراسات والبحوث في مجال تلوث المياه.....
231	المصادر العربية.....
233	المصادر الأجنبية.....

تقديم:

قد لا يكون من الغريب القول بأنه حالياً وفي أكثر دول العالم أصبحت المياه تستحوذ على درجة كبيرة من العناية والاهتمام سواء على الصعيد الفردي أو الجماعي، بعد أن أصبح توفير المياه بكميات مناسبة للاستخدامات اليومية أمراً فيه الكثير من الصعوبة بسبب الضغوط المتزايدة التي تتعرض لها هذه المياه وخاصة المياه العذبة.

ومن هذه الضغوط المتعددة برزت مشكلة التلوث المائي بكونها المشكلة الأهم التي تواجه البيئات المائية وخاصة البيئات المائية العذبة، مما تطلب بذل جهود حثيثة من أجل معالجة ما يمكن معالجته أولاً، وتجنب تدهور مزيد من هذه المصادر الحيوية ثانياً، وعلى أية حال فإنه من الواضح أن العديد من المشكلات البيئية التي ظهرت سابقاً في دول العالم المتطور كانت نتيجة للإهمال أو لهدم القدرة على إدراك وتحديد أسباب التلوث والتدهور البيئي، ومن أجل منع استمرار وتكرار مثل هذه القضايا في دول العالم الثالث يشكل عام وفي دولنا العربية بشكل خاص أصبح من المحتم علينا التعريف بمشكلة تلوث المياه وما تتركه من سلبيات غالباً ما تكون دائمية على نوعية مياهنا.

وفي هذا المنوال يأتي اعداد هذا الكتاب من أجل توضيح مشكلة التلوث المائي بتسلسل يأخذ بنظر الاعتبار كل جوانب المشكلة، حيث يبدأ الكتاب بفصله الأول بتوضيح أهمية الماء في حياتنا وخصائصه المهمة في حين يتناول الفصل الثاني توزيع المياه على سطح الأرض مع التركيز على بيئات الماء العذب، أما الفصل الثالث فيوضح مفهوم تلوث الماء مع إشارة إلى مصادر تلوث الماء، وأهم هذه الملوثات بشكل عام، أما الفصل الرابع فنستعرض به مقدمة عن التلوث البيولوجي والذي يعد الشكل الأكثر خطورة من بين ملوثات الماء، ومن ثم نتناول في الفصل الخامس أهم مجاميع الكائنات الحية التي تعيش في الماء والتي لها أهمية صحية، أما الفصل السادس فيتناول معالجة مياه الفضلة مع الإشارة إلى الطرق الحديثة في معالجة

التلوث المائي، أما فصله الأخير فيوضح الجهود الدولية للمحافظة على البيئة المائية، مع الإشارة إلى بعض المقترحات من أجل صيانة أكبر للموارد المائية؛ وفي الختام نجد من المناسب توجيه الشكر والتقدير لكل من ساهم في رفد هذا الكتاب بالمصادر الحديثة، وأخص بالذكر منهم الأخ أحمد عبد الرزاق الضامن، كما نوجه شكرنا العميق إلى الأستاذ خالد رزيك عمر لتقويمه الكتاب من الناحية اللغوية، ويجب أن نذكر هنا بأننا على استعداد لتقبل كل نقد بناء يصب في مصلحة إخراج الكتاب بأفضل صورة ممكنة والله من وراء القصد.

أ.م.د. حارث جبارفهد ود. عادل مشعان ربيع

الفصل الأول

الماء سر الحياة

مقدمة:

إن للماء أهمية بالغة للحياة على ظهر الأرض، وعليه فقد أكثر القرآن الكريم من ذكره، فيخبرنا عن أهميته وطرق تكوينه وتوزيعه على مناطق الأرض، فضلا عن وسائل تخزينه في الأرض ودوره في حياة الكائنات الحية، فيقول سبحانه في تبيان أهمية الماء كأساس للحياة "وترى الأرض هامدة فإذا أنزلنا عليها الماء اهتزت وربت وأنبتت من كل زوج بهيج" (الحج 5)، والقائل سبحانه "ألم تر أن الله أنزل من السماء ماء فتصبح الأرض مخضرة إن الله لطيف خبير" (الحج 63)، والقائل سبحانه "هو الذي أنزل من السماء ماء لكم منه شراب ومنه شجر فيه تسيمون ينبت لكم به الزرع والزيتون والنخيل والأعناب ومن كل الثمرات إن في ذلك لآية لقوم يتفكرون" (النحل 10 - 11).

ولا يمكن لأي حياة أن تظهر بدون الماء مصداقاً لقوله تعالى "أولم ير الذين كفروا أن السموات والأرض كانتا رتقا ففتقناهما وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون" (الأنبياء 30)، وأكد على أن جميع الكائنات الحية قد خلقت من هذا الماء مصداقاً لقوله تعالى "والله خلق كل دابة من ماء فمنهم من يمشي على بطنه ومنهم من يمشي على رجلين ومنهم من يمشي على أربع يخلق الله ما يشاء إن الله على كل شيء قدير" (النور 45)، وقوله تعالى "ألم تر أن الله أنزل من السماء ماء فاخرجنا به ثمرات مختلفا ألوانها" (فاطر 27)، ويبين لنا رب العزة كيفية توزيع الماء على جميع أرجاء الأرض كما في قوله تعالى "أولم يروا أنا نسوق الماء إلى الأرض الجرز فنخرج به زرعاً تأكل منه أأنعامهم وأنفسهم أفلا يبصرون" (السجدة 27).

وكذلك في قوله سبحانه "ألم تر أن الله أنزل من السماء ماء فسلكه ينابيع في الأرض ثم يخرج به زرعا مختلفا ألوانه ثم يهيج فتراهم مصفرا ثم يجعله حطاما إن في ذلك لذكرى لأولي الأبواب" (الزمر 21)، وأكد القرآن كذلك على أن الماء على اليابسة قد تم توزيعه على جميع أرجائها بحيث يضمن الحياة لكل كائن حي

على ظهرها مصداقاً لقوله تعالى "وهو الذي أرسل الرياح بشرا بين يدي رحمته وأنزلنا من السماء ماءً طهوراً لنحيي به بلدة ميتاً ونسقيه مما خلقنا أنعاماً وأناسي كثيراً ولقد صرفناه بينهم ليعذروا فأبى أكثر الناس إلا كفوراً" (الفرقان 48 - 50).

ويستمر الإعجاز القرآني ويؤكد على أن كمية الماء التي تسقط على اليابسة قد تم تقديرها بشكل بالغ حيث أن الزيادة في كمية الأمطار الساقطة على الأرض قد تؤدي لتدمير الحياة عليها وذلك مصداقاً لقوله تعالى "والذي نزل من السماء ماءً بقدر فأنشربنا به بلدة ميتاً كذلك تخرجون" (الزخرف 11)، وقوله تعالى "أنزل من السماء ماءً فسالأت أودية بقدرها" (الرعد 17).

وأكد على الدور المهم الذي تلعبه الرياح في نقل السحاب المحمل بالماء ومن ثم توزيعه على جميع مناطق اليابسة كما في قوله تعالى "وهو الذي يرسل الرياح بشرا بين يدي رحمته حتى إذا أقلت سحاباً ثقالاً سقناه لبلد ميتاً فأنزلنا به الماء فأخرجنا به من كل الثمرات كذلك تخرج الموتى لعلكم تذكرون" (الأعراف 57)، وقوله سبحانه "وأرسلنا الرياح لواقح فأنزلنا من السماء ماءً فأسقيناكموه وما أنتم له بخازنين" (الحجر 22).

ونظراً لأهمية الماء جعله الله حقاً شائعاً بين البشر جميعاً فحق الانتفاع به مكفول للجميع بلا احتكار ولا فساد ولا تعطيل يقول الرسول الكريم (صلى الله عليه وسلم): (الناس شركاء في ثلاث في الماء والكلا والنار) وهذا يعني أن مصادر الماء لا يجوز لأحد أن يحتكرها أو يمنعها عن الآخرين فلو أدرك الناس أهمية هذا الحديث لانتهت الصراعات التي تدور بسبب موارد المياه.

ما هو الماء:

الماء كما هو معروف هو المركب الكيميائي الأكثر إنتشاراً على سطح الأرض، وهو اسم يطلق على الحالة السائلة لمركب الهيدروجين والأكسجين،

وكان الفلاسفة الأقدمون يعتبرون الماء عنصراً أساسياً لكل المواد السائلة، وظل هذا الاعتقاد سائداً حتى القرن الثامن عشر، حينما استطاع العالم الكيميائي البريطاني هنري كافنديش (Henry Cavendish) في العام 1781 م من تخليق الماء بحرق الهيدروجين في الهواء محدثاً فرقة، ولم يكن كنهه هذه التجربة معروفاً إلى أن أثبت الكيميائي الفرنسي أنطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) أن الماء ليس عنصراً بل مركباً من الهيدروجين والأكسجين، ثم بعد ذلك اكتشف العالمان الفرنسي جوزيف لويس والألماني الكسندر فون همبولدت أن الماء يتكون من حجمين من الهيدروجين وحجم من الأكسجين، وفي العام 1860 اعطى العالم الإيطالي ستزالو كانزارو الصيغة التركيبية للماء (H_2O) والسائدة حالياً، أي أن الماء يتكون من "جزيئات"، ويحتوي كل جزيء على ثلاثة ذرات عبارة عن ذرتين من الهيدروجين وذرة أكسجين، ومن الجدير بالإشارة هنا إلى أن قطرة الماء الواحدة تحتوي على الملايين من هذه الجزيئات إذ يوجد في الميكروليتر من الماء بحدود 30 مليار جزيئة مائية، وهذه الجزيئات تكون في حركة دائمة، وتعتمد الحالة التي يكون عليها الماء (غازية أو سائلة أو صلبة) على سرعة حركة هذه الجزيئات.

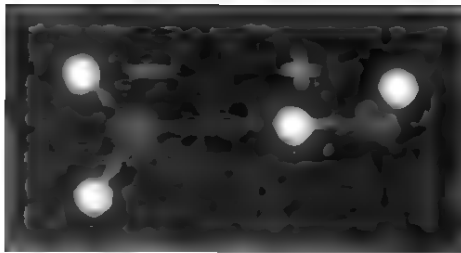
إن أهمية جزيئة الماء لا تقل بأي حال من الأحوال عن أهمية الذرات المكونة له فعنصر الهيدروجين يعد من أخف عناصر الكون، وأكثرها وجوداً به، حيث تصل نسبته إلى أكثر من 90%، وهو غاز قابل للاشتعال، ورقمه الذري هو 1، أما وزنه الذري فيبلغ 1.008، ويوجد الهيدروجين في الفراغ الفسيح بين المجرات والنجوم بنسبة ضئيلة، وتمتلك هذه الذرة عدد من النظائر فذرة الهيدروجين العادية (H) تحتوي على بروتون واحد، ولا تحتوي على نيوترون في نواتها، ويوجد مع الهيدروجين العادي نظيران آخران، هما الديوتيريوم (Deuterium)، وهو نظير ثابت، والآخر هو التريتيوم (Tritium)، وهو نظير مشع، ويختلف هذان النظيران عن الهيدروجين العادي، في احتواء نواتهما على النيوترونات، خلافاً للهيدروجين العادي، فذرة الديوتيريوم تحتوي نواتها على نيوترون، لذا فعدده الذري 1، ووزنه الذري 2، أما ذرة التريتيوم فتحوي نواتها على 2 نيوترون، ووزنه الذري يبلغ 3،

بينما يظل عدده النري 1، لذا فإن ذرة الديوتيريوم، أثقل من ذرة الهيدروجين مرتين، وذرة التريتيوم، أثقل من ذرة الهيدروجين ثلاثة أضعاف، ويوجد الديوتيريوم في المياه بصفة طبيعية بنسبة قليلة، حيث يُعد أحد مكونات الماء الطبيعية، أما التريتيوم، فيوجد في الطبيعة نتيجة تفاعل الأشعة الكونية مع هيدروجين بخار الماء، أو ينتج أثناء إجراء التفاعلات النووية.

أما عنصر الأوكسجين والذي يشكل الجزء الثاني من جزيئة الماء فهو ثالث أكثر العناصر وجوداً في الكون، وهو غاز نشط يساعد على الاشتعال، ورقمه الذري 8 ووزنه الجزيئي 16، كما يوجد: أيضاً، نظيران للأوكسجين، هما O17 وO18، ويوجد هذان النظيران مع الأوكسجين العادي في الماء في الطبيعة، بنسب قليلة، فالأوكسجين O17 يمثل ما يقرب 0,038% من أوكسجين الماء، بينما تصل نسبة نظير الأوكسجين O18، إلى حوالي 20,0% من الأوكسجين الموجود في الماء، كما يُكوّن الأوكسجين نسبة تبلغ 95,20% من الهواء الجوي الجاف، وهو ضروري لتنفس الكائنات الحية. ويدخل في التركيب العضوي لجميع الأحياء، مع عنصري الهيدروجين والكريون، وعلى الرغم من أن الهيدروجين غاز مشتعِل، والأوكسجين غاز يساعد على الاشتعال، إلا أنه عند اتحاد ذرتي هيدروجين مع ذرة أكسجين، ينتج الماء الذي يطفئ النار.

يرتبط الهيدروجين بالأوكسجين داخل جزيء الماء، برابطة تساهمية تعد من أقوى الروابط على الإطلاق، لذا فليس من السهل كسرها واستعادة الأوكسجين والهيدروجين من الماء، فكل ذرة هيدروجين، تحتاج إلى إلكترون إضافي في مدارها الخارجي، لتصبح ثابتة كيميائياً، وكل ذرة أوكسجين تحتاج إلى إلكترونين إضافيين في مدارها الخارجي، لتصبح ثابتة كيميائياً، لذا فإننا نجد في جزيء الماء ذرتين من الهيدروجين، تشارك كل واحدة بإلكترونها مع ذرة الأوكسجين، ليصبح في المدار الخارجي لذرة الأوكسجين 8 إلكترونات، وبذلك يكون مكتملاً.

وفي حالة ثبات كيميائي ايضاً، وفي الوقت نفسه، تشارك ذرة الأوكسجين بالكترون من مدارها الخارجي، مع كل ذرة هيدروجين، لإكمال المدار الخارجي لذرة الهيدروجين، ليصبح إلكتروني، وفي حالة ثبات كيميائي ايضاً، ويسمى هذا النوع من الروابط بالرابطة التساهمية كما اسلفنا لأنه تشارك فيه كل ذرة بجزء منها مع ذرة أخرى، لتكون جزيئاً قوياً للغاية يصعب تحلله، ويتجاذب كل جزيء ماء بالجزيئات المجاورة له، من خلال تجاذب كهربائي، ناتج عن اختلاف الشحنات الكهربائية، فذرتا الهيدروجين تلتقيان مع ذرة الأوكسجين في نقطتين، بزاوية مقدارها 105 درجة، في شكل هندسي غريب، جعل البعض يطلق على جزيء الماء اسم (رأس الفار)، أي أن شكله شبيه بمثلث متساوي الساقين ويكون الأوكسجين في الرأس بما ينتج عنه توزيع الشحنات الكهربائية، بشكل يشبه قطبي المغناطيس، فطرف ذرة الأوكسجين يمثل شحنة سالبة، وطرفا ذرتي الهيدروجين يمثلان شحنة موجبة، ونتيجة لهذا الاختلاف في الشحنات الكهربائية، تتجاذب كل ذرة هيدروجين في جزيء الماء، مع ذرة أوكسجين في الجزيء المجاور، بنوع من التجاذب الكهربائي، يطلق عليه الروابط الهيدروجينية (Hydrogen Bond)، وذلك وفقاً لقانون كولوم (ينص هذا القانون على أن الشحنات الكهربائية المختلفة تتجاذب)، هذه الرابطة وإن كانت تصنف من ضمن الروابط الهشة سريعة الكسر إلا أنها تتميز بأنها سريعة التكون أيضاً، أن هذا النوع من الروابط هو الذي يميز الماء ويعطيه خصوصيته المميزة، كما تفسر هذه الأصرة العديد من صفات الماء، مثل: ارتفاع درجة الحرارة النوعية، والحرارة الكامنة للانصهار والتبخير، كما أنها مسؤولة عن صفات التوتر السطحي واللزوجة، كما سيأتي ذكره فيما بعد،



من جانب آخر نجد أن توزيع الإلكترونات عبر الرابطة التساهمية بين الذرات غير متجانس، فذرة الأوكسجين تقوم بجذب الإلكترونات نحوها أكثر مما تفعل ذرة الهيدروجين الأمر الذي يعطي ذرة الأوكسجين شحنة جزئية سالبة (-) بينما يترك على كل ذرة من ذرتي الهيدروجين شحنة جزئية موجبة (+)، إن هذا الانحياز للإلكترونات إضافة إلى ذلك الترتيب اللاخطي للذرات يجعل جزيء الماء جزيئاً غير متعادل كهربائياً، وهو ما يعرف في لغة الكيمياء بـ (الجزء القطبي)، إذن في المركب المائي تتقاسم ذرة الأوكسجين وذرتي الهيدروجين الإلكتروني الهيدروجين، هذين الاليتكترونيين يقضيان وقت أطول حول ذرة الأوكسجين بالمقارنة بذرتي الهيدروجين ولذلك يوجد سحبتي اليتكترونيتين ذات شحنة سالبة حول ذرة الأوكسجين، ومنطقتين ذات شحنات موجبة حول كل من ذرات الهيدروجين، وعلى اية حال الماء في صورته النقية سائل عديم اللون والرائحة، يستوي في ذلك الماء المالح والماء العذب، إلا أن طعم الماء يختلف في الماء العذب، عنه في الماء المالح، فبينما يكون الماء العذب عديم الطعم، فإن الماء المالح يكتسب طعماً مالحاً؛ نتيجة ذوبان عديد من الأملاح به.

إن كل جزيئات الماء تجذب بعضها البعض كما ذكرنا سابقاً، وهذا ما جعلها تتجمع معاً، وهذا ما يجعل نقطة الماء كروية الشكل فعند انخفاض درجة الحرارة، إلى درجة تساوى أو تقل عن الصفر المئوي، تفقد جزيئات الماء طاقتها، وتقل حركتها، ويزيد ترابطها بالروابط الهيدروجينية، بما يزيد من الفراغات بين جزيئات الماء، ويرتبط كل جزيء مادة في هذه الحالة، بأربعة جزيئات مجاورة بروابط هيدروجينية في شكل ثلاثي الأبعاد، كما في حالة الجليد.

أهمية الماء:

الماء هو المكون الرئيس للحياة، إذ يلعب دوراً حيوياً في جميع العمليات الحيوية، التي تحدث داخل الكائنات الحية، بدءاً من الكائنات الأولية، ومروراً بالنبات، ثم انتهاءً بالإنسان، حيث إن الماء هو المكون الرئيس لأجسام الكائنات الحية،

اذ نجد أن من 50 - 90% من وزن الكائن الحي ماء، وتذكرنا هذه النسبة بنسبة مساحة سطح المحيطات إلى مساحة سطح الأرض الكلية والتي تبلغ ما يقرب من سبعين بالمائة.

تنبع أهمية الماء من كونه المكون الرئيس للبروتوبلازم والتي هي المادة الأساسية في الخلايا الحية، وتتكون من محلول دهون وبروتينات وكربوهيدرات وأملاح ذائبة في ماء، كما أن الدم في الحيوانات والعصير في النباتات يتكونان من الماء ويعملان على انتقال الغذاء والتخلص من النفايات، كما يلعب الماء دوراً أساسياً في تكسير جزيئات الكربوهيدرات والبروتينات، وهذه العملية مستمرة في الخلايا الحية.

أن أهمية الماء بالنسبة للإنسان تأتي من كونه يشكل ما يقرب من 70% من جسم الإنسان، وله وظائف عديدة، ولا يقتصر وجود الماء على السوائل الموجودة في الجسم، مثل: الدم، والسائل الليمفاوي، بل يدخل كذلك، في تركيب الخلايا المكونة لجسم الإنسان، إذ يتراوح نسبة وجود الماء بين 65% و90%، من وزن هذه الخلايا، تبعاً لنوعها، فعلى سبيل المثال، تحتوي خلايا الدم على نسبة كبيرة من الماء، بينما تقل نسبة الماء في الخلايا المكونة للعظام، كما يلعب الماء دوراً حيوياً، في جميع العمليات الفيزيولوجية في جسم الإنسان، وتختل هذه العمليات إذا فقد الجسم 10% من مائه، أما إذا زادت هذه النسبة إلى 20%، فإنها تؤدي إلى الوفاة، ويفقد الجسم في اليوم ما يقرب من 2،5 لتر، في العمليات الفيزيولوجية المختلفة، مثل: التنفس، وعمليات الطرح من بول وبراز وعرق وعمليات الهضم، فهو يساعد في خلط الطعام ومروره بسهولة من الفم إلى المعدة، كما يجعل الطعام المهضوم في الجهاز الهضمي مواداً مائعة قابلة للامتصاص، مع تقليل صلابة البراز وتليينه ليساعد الجهاز الإخراجي في طرد السموم من الجسم على هيئة بول عن طريق الكليتين، كما يجعل انسجة الجسم مرنة ليتمكنها أداء وظيفتها، كما أن الطعام في الفم يحتاج إلى اللعاب، الذي تفرزه الغدد اللعابية في الفم، ويحتوي اللعاب على ما يقرب من 99% ماءً ذائباً، به الإنزيمات والأملاح المختلفة، وتقدر كمية اللعاب، الذي تفرزه الغدد اللعابية في اليوم، بما يقرب من لتر ونصف، وتصب المعدة والأمعاء

إفرازاتها على الطعام، فضلاً عن إفرازات البنكرياس والعصارة الصفراوية، إذ تبلغ كمية ما يفرز، ما يقرب من لتر إلى لترين في اليوم، ومن نعم الله على الإنسان، أنه لا يفقد هذه الكميات من الماء مع خروج الفضلات، بل يعاد امتصاص جزء كبير من الماء من الأمعاء الغليظة، مع المواد الغذائية الذائبة فيه، كما تُنقى الكليتان الدم من الأملاح الزائدة، وبقية المخلفات الذائبة، والفضلات الأوتوتية، مثل حامض البوليك، وإخراجها في صورة ذائبة، على هيئة بول.

فضلاً عن ما تقدم فللماء في جسم الإنسان وظائف مهمة أخرى فهو مذيّب للألاح، السكريات، والبروتينات الضرورية للقيام بجميع فعاليات الخلية، وعلى سبيل المثال نقل المواد بين الخلايا يتم في محلول مائي، كما أن نقل المواد الغذائية والتخلص من الفضلات يتم بوجود الماء، كذلك أجهزة الدم، القلب، الكلى، الهضم يتعلق عملها بتزويد دائم للماء، والماء يلعب دوراً رئيسياً في النشاط والتفاعل بين الأحماض الأمينية والبروتين، وأحدى الأمثلة على ذلك عندما يقوم البروتين بإنهاء تشكيل السلسلة الببتيدية.

كما يعمل الماء على تنظيم درجة حرارة الجسم، وحفظها في مدى ثابت، فعند ارتفاع درجة الحرارة، يزيد إفراز الجسم من العرق، وبذا يعمل على تلطيف درجة حرارة الجسم، وخفضها عند تبخره، أما عند انخفاض درجة حرارة الجو، فإن الطاقة التي ينتجها الجسم، توزع على جميع أنحاء، عن طريق الدم والسائل الليمفاوي، حيث يمثل الماء القاعدة الأساسية لهذه السوائل، ويعد موصلاً جيداً للحرارة.

ولا تختلف أهمية الماء بالنسبة للنبات، عن أهميته للكائنات الحية الأخرى، ففي الحقيقة، وبمقارنة وزن بوزن، يحتاج النبات الماء أكثر من الحيوان، فأكثر من 90% من الماء، الذي يمتصه النبات عن طريق جذوره، ينطلق في الجو على هيئة بخار ماء، كما يستخدم النبات الماء، في تصنيع غذائه، فالنبات يمتص الماء من التربة عن طريق الجذور، ثم يرتفع الماء من خلال ساق النبات إلى الأوراق، عن طريق الخاصية

الشعرية، وفي الأوراق يتحلل الماء إلى عنصره، الأوكسجين والهيدروجين، بواسطة الصبغات الخضراء في عملية حيوية يطلق عليها "البناء الضوئي"، وفي هذه العملية، يتحد الهيدروجين الناتج عن تحلل الماء، مع ثاني أوكسيد الكربون، الذي تمتصه أوراق النبات من الهواء، لتصنيع سكر، ثم مركبات عضوية، كبروهيدراتية، ودهنية، وبروتينية لغذاء النبات، أما الأوكسجين الناتج من تحلل الماء، في عملية البناء الضوئي، فينتطلق معظمه في الهواء الجوي.

ولا يقتصر دور الماء في ظاهرة الحياة على كونه السائل الوحيد الذي يسهل التفاعلات الكيميائية بين جزيئات المواد التي تلزم لبناء أجسام الكائنات الحية بل إنه يدخل في تركيب المواد العضوية التي تنتجها الخلايا الحية، فالمواد العضوية تتكون بشكل رئيسي من أربعة عناصر وهي الكربون والهيدروجين والأوكسجين والنيتروجين وكميات قليلة من بقية العناصر الأرضية كالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والحديد والفوسفور واليود، إن المصدر الرئيسي للكربون والأوكسجين هو ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء أو المذاب في الماء، وأما مصدر الهيدروجين فهو الماء، وأما مصدر النيتروجين فهو الهواء الذي تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتثبيتته في تراب الأرض ومياهها، إن عملية تصنيع المواد العضوية من مكوناتها الأساسية أو موادها الخام تبدأ أولاً بتصنيع سكر الكلوكوز في خلايا النباتات والطحالب ومن ثم يستخدم هذا السكر لاحقاً لتصنيع مختلف أنواع المواد العضوية، ويتم تصنيع سكر الكلوكوز من ثاني أوكسيد الكربون والماء في داخل البلاستيدات الخضراء الموجودة في خلايا النباتات والطحالب بوجود الطاقة الشمسية من خلال عملية التركيب الضوئي، وفي هذه العملية تتحد ستة جزيئات من ثاني أوكسيد الكربون وستة جزيئات من الماء لتنتج جزيئاً واحداً من سكر الكلوكوز وستة جزيئات من الأوكسجين، ويقدر العلماء كمية الماء الذي تمتصه النباتات من الأرض والطحالب من 410 بلايين طن، وكمية ثاني أوكسيد الكربون التي تأخذها النباتات من الهواء والطحالب من البحر 500 بليون طن، وكمية الطاقة التي تستمدّها من ضوء الشمس بجزء من ألفي جزء من مجموع الطاقة

الشمسية التي تصل إلى الأرض وذلك في السنة الواحدة، وفي المقابل تنتج البلاستيدات الموجودة في النباتات والطحالب 341 بليون طن من سكر الكلوكوز و 205 بلايين طن من الماء و 364 بليون طن من الأوكسجين، ومن عجائب التقدير أن سكر الكلوكوز عند تحلله بعد الاستفادة من الطاقة المخزنة فيه يعيد هذه الكميات الضخمة من الماء وثاني أوكسيد الكربون إلى الطبيعة ليعاد استخدامها من جديد.

• خصائص الماء الفريدة:

يؤكد العلماء على أن الحياة ظهرت على الأرض بسبب الخصائص الفريدة العجيبة للماء فبدون هذه الخصائص لا يمكن للحياة أن تظهر أبداً، ومما أثار استغراب العلماء أن جميع خصائص الماء الفيزيائية والكيميائية هي خواص شاذة، أي أنها تختلف عن خواص مركبات مشابهة لها في التركيب.

1. الماء كمنيب:

ان قدرة الماء الفائقة على الإذابة والتي لا تقدر بثمن للكائنات الحية تعود إلى القطبية التي شرحناها سابقاً، فالماء يستحق ان يطلق عليه وصف "المنيب العام" بكل لما لهذه الكلمة من معنى ذلك أن أغلب المواد تذوب في الماء، ولكن بدرجات متفاوتة، وترجع سبب قوة إذابة الماء للمواد الأخرى، إلى قطبية جزيئات الماء الناتجة عن الشكل الهندسي المائل للروابط التساهمية، فكثير من ذرات المواد الذائبة، ترتبط بعضها ببعض، من خلال قوى جذب إلكتروستاتيكي بسيط، ناتجة عن احتوائها على شحنات مختلفة، وهذه الأنواع من الروابط تُعدّ أضعف بكثير من الروابط التساهمية الموجودة داخل جزئ الماء، والروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء.

ونتيجة لوجود ذرات تلك المواد في الماء، فإنها تحاط بجزيئات الماء، وتعزلها فيزيائياً بعضها عن بعض، وتتاين وتصبح ذائبة في الماء، وعلى الجانب الآخر، يظل الماء محتفظاً بتركيبه الأساسي، بسبب قوة الروابط التساهمية والهيدروجينية، لذا:

تُعدّ مقدرة الماء على إذابة العديد من المواد العضوية وغير العضوية، من دون التفاعل معها، أو تغيير خصائصه الكيميائية الأساسية، من الخصائص الفريدة التي يتميز بها الماء، وهذا على عكس المذيبات العضوية التي لا تقدر على إذابة أي مادة، دون التفاعل معها، فعلى سبيل المثال، يذوب السكر في الماء عن طريق تداخل جزيئات الماء داخل جزيئات السكر، حيث تقوم بعزلها فيزيائياً، والاحتفاظ بها داخل الفراغات الموجودة بين جزيئات الماء، وبالتالي يذوب السكر عن طريق انتشار جزيئاته بين جزيئات الماء دون التفاعل معها؛ وهذا الذوبان هو عكس ذوبان ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) في الماء، حيث تتم الإذابة عن طريق تأين (Ionization) كلوريد الصوديوم، إلى أيونات الكلوريد السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة، ولهذا السبب، نجد أن محلول السكر في الماء المقطر، يكون غير قابل للتوصيل الكهربائي نتيجة عدم تكون أيونات حرة من عملية الذوبان الفيزيائي للسكر، حيث تعمل هذه الأيونات الحرة على حمل إلكترونات التيار الكهربائي في الماء، فيما يكون محلول الملح (كلوريد الصوديوم)، الذائب في الماء المقطر، موصلاً جيداً للكهرباء، نتيجة ازدياد أيونات الكلوريد وأيونات الصوديوم اللازمة لحمل إلكترونات التيار الكهربائي في الماء، وكلما ازداد تركيز هذه الأيونات، ازدادت مقدرة هذا المحلول على التوصيل الكهربائي.

إن لصفة الإذابة هذه أهمية خاصة في تغذية الكائنات الحية، وذلك لأن تغذية الكائنات الحية واستفادتها من الغذاء، تعتمد بصورة رئيسية، على إذابة المواد الغذائية في الماء، سواء تم ذلك قبل امتصاص المواد الغذائية، أو بعد امتصاصها وانتقالها في جسم الكائن الحي، وتسبب هذه الخاصية بعض المشكلات في كثير من الأحيان، حيث يصعب الحفاظ على الماء بحالة نقية، لأن نقائه يبدأ في التناقص تدريجياً، فالأمطار واثناء هطولها، تذيب كثير من العوالق والشوائب الموجودة في الجو، وبذلك تهبط إلى الأرض محملة بالكثير من المواد الكيميائية والأتربة، إن صفة المذيب العام جعلت الماء هو السائل الوحيد من بين جميع السوائل الطبيعية الذي يصلح لأن يكون وسطاً مناسباً لحدوث التفاعلات الكيميائية التي تلزم

لتصنيع المواد التي تحتاجها أجسام الكائنات الحية، وهذه الخاصية بالغة الأهمية للحياة حيث أن الكائنات الحية تحتاج لآلاف الأنواع من الجزيئات التي يجب أن تصنع في داخل هذا الماء، وهذا لا يمكن أن يتم إلا إذا كانت هذه الجزيئات قابلة للذوبان في الماء، ويستطيع الماء إذابة مختلف أنواع العناصر والمركبات العضوية وغير العضوية، سواء أكانت هذه المواد في حالتها الصلبة أو السائلة أو الغازية، فبها أصبح الماء من أقوى المذيبات حيث يسهم بفعالية في إتمام عمليات الهضم وتجديد الدم والتخلص من المواد السامة (الفضلات) في أجسام الكائنات العضوية وغير العضوية على حد سواء، أن هذه الخاصية بالذات هي مفتاح لنشوء الحياة، إذ تساعد أحجار بناء الحياة (البروتين والجينات) على اتخاذ اشكالا ثلاثية الأبعاد والتي تقرر الوظائف الحيوية، حيث عند تفاعل الجينات مع البروتين من الضروري أن يكون مناسبين لبعضهم إلى حد التتطابق، وإذا كان هناك خلل يمنع الانسجام المتطابق لا يحدث التفاعل، الأمر الذي يؤدي في أسوأ الأحوال إلى المرض أو التشوه أو الموت، إذ أنه من المعروف أن البروتينات الجديدة تخرج من رحم الخلية بالارتباط مع السلسلة الببتيدية المؤلفة من الأحماض الأمينية، ولكن فقط في السائل الخلوي يصبح البروتين جاهزاً بشكله الثلاثي الأبعاد، وعليه فقسم من الأحماض الأمينية تكرر الماء ولذلك تنسحب إلى مركز البروتين بشكل طبيعي في حين القسم الآخر يحب الماء، ولذلك يتموضع على سطح البروتين في اتصال مباشر مع الماء، بمعنى أن البيئة المائية وضعت بصماتها على طريقة تشكل البروتين في محاولة لتمثيل العملية من خلال الكمبيوتر أظهرت السلسلة المزدوجة للحامض الأميني ميلا كبيرا للانضراط إذا حاول المرء بناء السلسلة الأمينية بدون وجود الماء، هذا بفضل أن الجزيئات المائية تخلق روابط مائية (هيدروجينية) بين مجموعة الفسفور في سلسلة الأحماض الأمينية وإلا فإنهم سيطردون بعضها البعض، فضلا عن ذلك أن الماء له القدرة على تأيين بعض جزيئاته وهذه الظاهرة ضرورية لإتمام كثير من التفاعلات الكيميائية التي تجري في داخل الخلايا الحية، فجزء الماء المتأين ينتج أيون الهيدروجين الموجب والمسؤول عن ظاهرة الحموضة وأيون الهيدروكسيل

السالب المسؤول عن ظاهرة القاعدية، وقد وجد العلماء أن بعض الأنزيمات لا تعمل إلا عند درجات محددة من الحموضة أو القاعدية في الماء.

2. التماسك والتلاصق:

تسمى ظاهرة شد جزيئات سطح سائل ما بعضها لبعض وبمصطلح الفيزيائيين بالتوتر السطحي (Surface Tension)، وتقاس بالقوة المؤثرة على وحدة الأطوال (الداين/سم)، ويُعرف التوتر السطحي على أنه "تماسك السطح الحر للسائل، تشغل أقل مساحة ممكنة"، أما اللزوجة (Viscosity)، فهي "مقاومة السائل للحركة"، وتتسبب الرابطة الهيدروجينية، في جعل قوة التوتر السطحي للماء ولزوجته، مناسبتين لاستمرار الحياة، فنجد الماء يساعد من خلال هاتين الخاصيتين، على تماسك مواد الخلية، مع توصيل الماء والغذاء لجميع أجزاء الجسم، ويتساوى في ذلك النبات والحيوان، كما تساعد اللزوجة والتوتر السطحي، كذلك، في إبقاء فقدان الماء من أوراق النبات عن طريق الثغور، كما تعمل هاتان الخاصيتان على طفو المراكب والسفن والبواخر، على سطح الماء، دون الغوص فيه، نتيجة الأحمال الثقيلة، كما أنه يمكن وضع أجسام مختلفة على سطح الماء دون ترسيبها.

تبدو هذه الظاهرة واضحة عندما نملأ كوباً بالماء إلى حافته ولا ينسكب، ونراها أيضاً عندما تسير العناكب على سطح المياه الراكدة دون أن تبطل أقدامها وكأنها تسير على سطح صلب، وفي ميل الماء إلى التكور على هيئة قطرات بدل الانتشار على السطح الذي يسكب عليه، وفي تكوين ذلك الحاجز غير المرئي بين المياه العذبة والمالحة عند مصاب الأنهار في البحار والتي جاءت الإشارة إليها في قوله سبحانه (وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخاً وَحِجْراً مُّحْجُوراً (الفرقان 53))، وفي الآية الكريمة إشارة واضحة إلى شدة تلك القوة الحازمة والتي تؤكد عظم التوتر السطحي للماء.

ليس الماء وحده له هذه الروابط المائية الخفية بفضل ذرة الهيدروجين، إذ هناك سوائل أخرى لها اضية مماثلة كالاسيتون والكحول، ولكن روابطها ليست قوية كما لدى الماء، الامر الذي يعطي الماء القدرة على تشكيل سلسلة طويلة وقوية، ووفقا لهذه القوة يبدو سطح السائل كقطعة جلد مشدودة على إطار، وباستثناء الزئبق فإن عنصر الماء يمتلك أعلى قيمة التوتر سطحي بين جميع السوائل.

ويمكن التوضيح اكثر إذا نظرنا الى الماء الموجود في كأس، نرى ان جزيئات الماء الواقعة في وسطه لها روابط من جميع الاتجاهات الامر الذي يحقق لها الانسجام وحركة متناسقة مع جيرانها، في حين الجزيئات الواقعة عند الاطراف، روابطها غير مشبعة، يمكن القول إذن ان هناك جزيئات في حالة نظام واخرى بلا نظام كالغاز، ومع ذلك فإن جزيئات هذه المناطق تتبادل مواقعها باستمرار بين النظام والانظام بسبب ان الروابط تتشكل وتتحطم باستمرار، وبسبب هذه الظاهرة (التنقل بين الحالتين) تزداد قدرة الماء على التماسك بين اجزائه بالمقارنة مع السوائل الغير قطبية.

وفي ضوء ما تقدم فإن أهم خصائص الماء الناتجة عن التوتر السطحي هي قدرة الماء الفائقة على تسلق جدران الوعاء الذي يوضع فيه، وكلما كان قطر الجدار الذي يتسلقه صغير كلما ارتفع فيه مسافة أعلى، هذه الخاصية الحيوية للماء، والمعروفة بالخاصية الشعرية (Capillary action) التي لها أهميتها الكبرى حيث ينتقل الماء والمواد الذائبة فيه خلال فراغات المواد المسامية بفعل قوة الشد السطحي والتصاق وتماسك الماء.

وهذه الخاصية نجدها في جنود النباتات حيث يمتص الماء من التربة مذابا فيه المواد المغذية، لينتقل بفعلها من اسفل لأعلى ضد الجاذبية ويظل يرتفع حتى تتغلب الجاذبية عليه وتوقف صعوده، اذن خاصية التماسك توضع صعود الماء الى اعلى الشجرة، عندما يكون بإمكانية الشجرة النمو الى ارتفاعات تصل الى مئة متر يفترض ذلك ان يكون بإمكان الماء الوصول الى نفس هذا الارتفاع للوصول الى

الاوراق والاغصان العليا، من اجل ذلك يستغل الماء خاصية الرابطة المائية للصعود الى الارتفاعات العليا ولتتصور هذا لو وضعنا أنبوبة شعرية زجاجية في كوب ماء سنجد أن مستوى الماء بها أعلى من مستوى الماء في الكوب، كما أن الخاصية الشعرية هي التي تعمل على حفظ الماء في خلايا جميع الكائنات الحية بنفس النسبة رغم تفاوت ارتفاع مواقعها في جسم الكائن، ولولا هذه الخاصية لتجمع الماء في الأجزاء السفلى من جسم الكائن بسبب فعل الجاذبية الأرضية، ونعود ونؤكد أن اساس نجاح هذه الظاهرة قائم على قدرة الماء على خلق الرابطة المائية التي تمسك الجزيئات ببعضها من الجذور وحتى القمة، لقد اظهرت الحسابات ان الماء قادر على الصعود الى مسافة ثلاث كيلومترات، وبعد ذلك لا يمكنه الصعود الى مستوى اعلى بسبب الجاذبية الارضية، أما الخاصية الاخرى فهي قدرة الماء العالية للاتصاق بالاشياء التي يلامسها وهذه الخاصية تساعد في انتشار الماء بكل سهولة في أجسام الكائنات الحية بحيث يمكنه الوصول لكل خلية من خلايا أجسامها التي لا يمكن لها أن تعيش بدونه.

3. الاستقرار الحراري المثالي:

لعل خواص الماء الحرارية من أكثر خصائصه شذوذاً وغرابة، ان القدرة على احتواء الحرارة هي احدى اهم خصائص الماء، وتعني ان الماء يحتاج الى حرارة اكثر بالمقارنة مع بقية السوائل الاخرى، كما يؤثر ارتفاع درجة حرارة الماء على كل خصائصه الطبيعية كالكثافة والشد السطحي وذوبان الغازات في الماء والزوجة وغيرها كما هو مبين في الجدول التالي:

جدول 1 يوضح علاقة الكثافة واللزوجة بدرجة حرارة الماء

درجة الحرارة	الكثافة (gm/ml)	اللزوجة
0	0,99984	787,1
5	0,99997	519,1
10	0,99970	307,1
15	99910,0	139,1
20	0,99820	002,1
25	0,99704	890,0
30	99565,0	798,0

ان من مظاهر استقرار الماء الحراري أيضا ارتفاع معامل الحرارة النوعية له، مما يعني أن الماء يحتاج إلى كمية كبيرة جداً من الحرارة حتى يسخن مقارنة مع العناصر الأخرى، وعليه فقدرة الماء على احتواء الحرارة تؤدي إلى استقرار الحرارة في البحر وبالتالي استقرار المناخ على الأرض، إن خاصية احتواء الحرارة، هي سمة مهمة للماء، كون الماء يحتاج إلى حرارة إضافية في ما يسمى النقطة الحرجة، ويفسر بضرورة الحاجة إلى تحطيم الروابط المائية أو الخفية أولاً قبل أن تتمكن الحرارة من تحريك جزيئة الماء لتصبح في الحالة البخارية.

عند السوائل الغير بولارية كالكزيت، يختلف الأمر، إذ لا توجد روابط مائية خفية بين الجزيئات، الأمر الذي يجعل الجزيئات تدور حول نفسها بسرعة عند التعرض للحرارة، النقطة التي قلتيقي فيها الحالات الثلاث تسمى النقطة الثلاثية، حيث تتغير الحالة فجأة منتقلة بين الحالات الثلاث اعتماداً على تذبذبات الحرارة والضغط الضئيلة، فضلاً عن ذلك الماء يملك على الأقل نقطة حرجة أخرى حيث تزال الحدود بين حالتين فيزيائيتين، هذه النقطة الحرجة هي التي بين الحالة السائلة والغازية، والتي تقع عند 374 درجة و 22 ضغط جوي، هنا تنفصم

الروابط المائية بدرجة يصعب التفريق بين حالتي الماء، وجزيئات الماء تنتقل بسرعة بين كلا الحالتين، وعلى أية حال يعتقد الفيزيائيين بوجود نقطة حرجة ثالثة بين الحالة السائلة والحالة الصلبة، ولكن لحد الآن لم يتمكن أحد من تحديد القيم الضرورية للوصول إلى هذه الحالة في التجارب المختبرية، وعليه فإذا وضعنا قدرا فارغا على النار، فسرعان ما يسخن حتى الاحمرار، بينما لو سكينا فيه بعض الماء ووضعناه من جديد لاستغرق الماء وقتا كبيرا حتى يسخن، ذلك أن الحرارة النوعية للماء أكبر عشر مرات من الحرارة النوعية للحديد، وقد تصل الحرارة النوعية للماء إلى مائة ضعف الحرارة النوعية لكثير من المعادن، ولو ذهبنا إلى شاطئ البحر في وقت الظهيرة لوجدنا الرمل أشد حرارة من البحر بينما الوضع ينعكس تماما في الليل، والسبب أن الحرارة النوعية للماء أكبر بحوالي خمس مرات من الحرارة النوعية للرمل، فالماء يسخن ببطء ويفقد حرارته أثناء تبريده أيضا ببطء، بينما الرمل يسخن بسرعة ويبرد بسرعة، وبقي أن نذكر أن الحرارة النوعية للماء تساوي (1 سعرة / غرام)، بمعنى أنه لرفع حرارة واحد غرام من الماء درجة مئوية واحدة فإننا نحتاج إلى واحد سعرة، وهذا نتيجة وجود الرابطة الهيدروجينية في تكوين جزيئات الماء.

أن الحرارة النوعية هي مقياس لكمية الطاقة التي تختزنها كمية محددة من المادة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار درجة مئوية واحدة، فعندما يتم تسخين المواد فإن كمية الطاقة التي تختزنها تتناسب مع كتلتها ومقدار الزيادة في درجة حرارتها وكذلك حرارتها النوعية، وعندما تبرد هذه المواد فإنها تشع جميع الطاقة التي اختزنتها إلى الجو المحيط بها إذا ما هبطت درجة حرارتها إلى نفس الدرجة التي كانت عليها قبل تسخينها.

ويجب أن نذكر هنا بأن هذه الخاصية تعد من الخصائص المهمة، التي تمكن الكائن الحي من استمرار وظائفه الحيوية، أثناء حدوث تغييرات مفاجئة في درجة الحرارة المحيطة به، من دون حدوث خلل في هذه الوظائف، كما أن هذه الخاصية هي التي وفرت للكائنات الحية درجات الحرارة المناسبة لعيشها على سطح

الأرض فلولاً وجود الماء بهذه الكميات الكبيرة على سطح الأرض لهبطت درجة حرارة سطح الأرض إلى درجات متدنية جداً بسبب تدني الحرارة النوعية للمواد المكونة للقشرة الأرضية، ولكن مياه المحيطات التي تغطي سبعين بالمائة من مساحة سطح الأرض تقوم بامتصاص كميات كبيرة من الطاقة الشمسية خلال النهار ومن ثم تقوم أثناء الليل بإشعاع هذه الحرارة إلى جو الأرض لكي يحافظ على درجة حرارة سطح الأرض ضمن الحدود المسموح بها، ومن فوائد الاستقرار الحراري للماء أن درجة غليان الماء ودرجة تجمده تستخدمان كنقطتين مرجعيتين لمعظم الثرمومترات، كما أن حرارته النوعية العالية جعلته يستخدم كمبرد في رادياتر السيارات وفي كثير من المصانع، ويفضل الحرارة العالية اللازمة لتبخير الماء أو لتجمده نتج فصلاً الربيع والخريف كمرحلتين انتقائيتين بين الشتاء والصيف، وكما أن معامل الحرارة النوعية للماء مرتفع فذلك الحال بالنسبة لمعامل الحرارة الكامنة للإنبهار والتبخير، وتُعرف الحرارة الكامنة، لانصهار الماء المتجمد، بأنها: "كمية الحرارة اللازمة لصهر غرام واحد من الثلج (أي تحويله من ثلج صلب إلى ماء سائل)، دون تغيير في درجة حرارة الماء"، وهي تبلغ 80 سعراً حرارياً، أما الحرارة الكامنة لتبخير الماء؛ أي تحويله من الحالة السائلة إلى بخار الماء، فتعرف على أنها "كمية الحرارة اللازمة لتبخير غرام واحد من الماء من دون تغيير درجة حرارته"، وهي تبلغ 540 سعراً حرارياً.

إن تحول الماء إلى بخار يتطلب قدراً هائلاً من الحرارة، فالماء يغلي، عادة، عند درجة حرارة (100 درجة مئوية)؛ ولكن بوصول الماء إلى درجة الغليان، فإنه لا يتحول مباشرة إلى بخار، إنما هناك فترة يمتص الماء خلالها قدراً إضافياً من الحرارة، من دون حدوث أي زيادة في درجة حرارته، قبل تحويله إلى بخار ماء، لذا، فإن بخار الماء يحتوي على قدر هائل من الطاقة الحرارية، وهي الطاقة التي اكتشفت منذ القرن الثامن عشر، ولما كان بخار الماء يحتوي على قدر كبير من الطاقة الحرارية، فإنه يتكثف عند انخفاض درجة الحرارة، مع انبعاث طاقته الحرارية، ويصير البخار سائلاً، ويسقط على هيئة أمطار، ومن خصائص الماء الفريدة المرتبطة بالحرارة، وجوده في حالات المادة الثلاثة، الغازية والسائلة والصلبة وذلك تحت الظروف العادية من الحرارة والضغط الجوي، وبمقارنة كمية الحرارة الكامنة

للماء، بغيره من السوائل، نجد أن كمية الحرارة الكامنة للانصهار والتبخر للماء كبيرة جداً، ويرجع ذلك أيضاً إلى وجود الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء.

إن الماء لا يقوم بدوره البالغ الأهمية في الحياة إلا وهو في الحالة السائلة وهذا يتطلب أن يكون الماء في هذه الحالة السائلة على مدى نطاق واسع من درجات الحرارة، وقد وجد العلماء أن الماء يتميز على جميع المركبات السائلة الأخرى في وجود فرق كبير بين درجة تجمده ودرجة غليانه، فهو يتجمد عند درجة الصفر ويغلي عند درجة مائة درجة مئوية أي بفارق مائة درجة، وبهذه الخاصية فإن الماء يشد شذوذاً كبيراً عن بقية هيدرات العناصر الأخرى، فعند مقارنة درجة غليان الماء بدرجات غليان العناصر الهيدروجينية الأخرى المشابهة له في التركيب الكيميائي مثل كبريتات الهيدروجين أو الميثانول أو الإيثانول، نجد أن تلك العناصر تملك درجات غليان منخفضة جداً رغم كبر وزنها الجزيئي، ولو أن الماء يتبع نفس سلوك تلك العناصر لكانت درجة غليانه وفقاً لوزنه الجزيئي الصغير يجب أن تكون ثمانين درجة تحت الصفر إذا ما قورن مع مركبات مشابهة له في التركيب، أما درجة تجمده كان يجب أن تكون مائة درجة تحت الصفر، أي لولا هذا الشذوذ لوجد الماء على الأرض وعند درجات الحرارة الاعتيادية في حالة بخار فقط، فمثلاً توجد مركبات أخرى مكونة من ذرتي هيدروجين وذرة من عنصر آخر، مثل: السيليเนียม أو الكبريت، وهذه المركبات لا توجد في حالة سائلة، إلا في حرارة منخفضة للغاية (- 100 درجة مئوية إلى - 90 درجة مئوية)، فلو استبدلت ذرة الأوكسجين في جزيء الماء بأي مركب آخر، فلن يكون هناك ماءً سائلاً على وجه الأرض، حيث إن درجة حرارة سطح الأرض أعلى دائماً من (- 90 درجة مئوية)، وبالنظر إلى الفرق بين درجتي الحرارة اللازمتين للتجمد والغليان، فإن الماء يبقى سائلاً في مدى واسع من درجات الحرارة.

ومن عجائب التقدير في خلق الأرض أن التفاوت في درجة حرارة معظم مناطق سطحها يقع ضمن المدى الذي يكفل بقاء الماء في حالته السائلة، ولهذا نرى أن معظم الماء الموجود على سطح الأرض هو في الحالة السائلة، ومن العجيب أيضاً

أن الكائنات الحية التي تعيش في مناطق تهبط فيها درجات الحرارة إلى ما دون درجة تجمد الماء قد تم تزويدها بآليات تمنع الماء الموجود في أجسامها من التجمد على الرغم من أن الماء يشكل ما يزيد عن ثمانين بالمائة من أجسامها.

4. منحني الكثافة الفريد:

إذا أخذنا حجماً معيناً من الماء وقمنا بتبريده فإن حجمه ينكمش وبالتالي كثافته تزداد مثله مثل أي سائل آخر، أن أكبر كثافة للماء تحدث عندما تكون درجة حرارته أربع درجات مئوية أي أن الماء في حالته الصلبة أخف منه في حالته السائلة، وهذا على عكس جميع السوائل الأخرى التي تزيد كثافتها كلما قلت درجة حرارتها، غير أن المدهش في الماء أن هذه الخاصية تتوقف عندما تصل درجة حرارة الماء إلى (4°م)، إذا قمنا بتبريد الماء أكثر فإن حجمه بدلا من أن ينكمش يتمدد وتقل كثافته تبعاً لذلك، حتى أنه حين يتجمد (أي تصبح درجة حرارته صفراً مئوياً) فإن كثافته تكون قد انخفضت بمقدار (10%) عنها عند درجة حرارة (4°م)، وهذا يفسر لماذا تنفجر أنابيب المياه عند التجمد، ولماذا يطفو الجليد على سطح الماء ولا تتجمد البحيرات من الأسفل إلى الأعلى، ومما تقدم نجد وبوضوح قدرة الخالق سبحانه وتعالى والذي حفظ للكائنات البحرية في المناطق المتجمدة حقها في الحياة.

أن تفسير ذلك هو وجود فراغات في الثلج بسبب الأريطة الهيدروجينية بين الجزيئات، لذلك المبنى غير متكاتف، عند التسخين تتكسر بعض الأريطة الهيدروجينية ويتبعه إرتفاع بالكثافة، ومع الإستمرار بالتسخين تتكسر أريطة إضافية ولذلك تنخفض الكثافة، وللتوضيح أكثر فعندما نبرد الماء، تبدأ كثافته تزداد في البداية بشكل طبيعي، بسبب أن الجزيئات التي في حالة الفوضى تصبح أقرب إلى بعضها أكثر فأكثر، وعندما تصبح درجة الحرارة أقل من 4 مئوية يصبح الماء فجأة أخف، هذا بفضل أن الجزيئات تبدأ بالتحول إلى بنية البلورات الجليدية ويزداد عددها لتشكّل شبكة من الروابط الهيدروجينية، وكلما أزداد أعداد الذرات

الداخلية في الشبكة كلما ابتعدت الذرات عن بعضها، وبالتالي ازدادت الفراغات بينها الامر الذي يجعلها اخف من الماء وتأخذ حجماً اكبر، وعندما تنخفض درجة حرارة الماء إلى درجة الصفر المئوي، تفقد جزيئات الماء طاقتها، وتقل حركتها، ويزيد ترابطها بالروابط الهيدروجينية، بما يزيد من الفراغات بين جزيئات الماء كما في حالة الجليد.

اذن وفي ضوء ما تقدم يُعد الماء مثلاً للخروج على القاعدة العامة في العلاقة بين درجة الحرارة والكثافة، والماء عندما يتجمد يتمدد في الحجم وتقل كثافته، ويطفو كتقشرة من الجليد فوق سطح الماء، ولولا هذه الخاصية الشاذة والعلاقة بين انخفاض الكثافة وانخفاض درجة الحرارة للماء، لازدادت كثافة الثلج المتكون على السطح عن بقية الماء، وهبط إلى القاع، معرضاً سطح الماء، الذي تحته، إلى درجة حرارة منخفضة، فتتجمد كل طبقات الماء، في مياه المناطق القطبية، أو المتجمدة بسبب شدة البرودة ويستحيل معها الحياة، لكن الحقيقة نجدها مع انخفاض درجة حرارة الجو، تتجمد طبقات الماء العليا فقط، وتقل كثافتها وتتمدد، فتطفو على سطح الماء، وتعزل بقية الماء تحتها، عن برودة الجو، فيبقى الماء سائلاً ويسمح باستمرار الحياة.

وعليه فإن الماء عند سطح المحيطات إذا ما تعرض لدرجات حرارة منخفضة فإنه يهبط للأسفل إذا ما بلغت درجة حرارته أربع درجات مئوية ويتم استبداله بماء أسخن منه من أسفل المحيطات مما يحول دون تجمد السطح، وإذا ما بلغت درجة حرارة جميع ماء البحر أربع درجات مئوية فإن أول ما يبدأ بالتجمد ماء السطح مما يشكل طبقة عازلة تحول دون تجمد بقية ماء البحر، وبهذا وفرت هذه الآلية العجيبة حياة آمنة لجميع الكائنات الحية البحرية في مياه البحار والمحيطات، وعند درجة حرارة لا تقل عن أربع درجات مئوية فسبحان القائل "وخلق كل شيء فقلّره تقديراً".

5. المقاومة لتحلل والشفافية للضوء:

نظراً إلى وجود الرابطة التساهمية داخل جزيء الماء، وترتيب ذراته المرتبطة بعضها ببعض، بشكل هندسي مائل، كما أوضحنا سابقاً فإنه من الصعب تحليل جزيئات الماء إلى عناصرها الأولية، تحت الظروف الطبيعية، إلا أنه تحت ظروف خاصة، يتحلل الماء بنسبة قليلة تبلغ 11% إلى عنصريه: الهيدروجين والأكسجين، في ظل درجة حرارة معينة، وأما الخاصية الأخرى للماء فهي شفافيته للضوء حيث أنه يسمح بمرور الضوء المنبعث من الشمس من خلاله بأقل فقد ممكن، وهذه خاصية بالغة الأهمية لدوام حياة الكائنات في بحار ومحيطات الأرض، فحياة جميع الكائنات البحرية تقوم على ما تنتجه الطحالب من مواد عضوية، وهذه الطحالب تقوم بتصنيع المواد العضوية من العناصر والمركبات الذائبة في الماء بوجود الطاقة الشمسية من خلال عملية التركيب الضوئي، ولو لم يكن الماء شفافاً للضوء لما تمكنت أشعة الشمس من الوصول إلى الطحالب التي تعيش في الطبقات العليا من مياه المحيطات، ولتوقفت عملية تصنيع المواد العضوية التي تتغذى عليها جميع الكائنات البحرية، كما تساعد شفافية الماء الكائنات الحية البحرية على رؤية الأشياء من حولها من خلال نظام الإبصار التي زودها الله بها، وتساعد كذلك الإنسان والحيوان على كشف وجود شوائب ضارة في الماء قبل أن تقوم بشره.

6. التآين والأمس الهيدروجيني:

تعرف عملية التآين بأنها "عملية تحول جزيئات مركب ما، إلى أيونات"، وبالنسبة إلى الماء، فإن معدل تآينه يُعدّ ضعيفاً جداً، إذا ما قورن بمعدلات التآين في المركبات الأخرى، إلا أنه قد يحدث تحليل لبعض جزيئات الماء، إلى أيوني الهيدروجين الموجب (H^+)، والهيدروكسيل السالب (OH^-)، وقد وجد أن زيادة تركيز أيون الهيدروجين، تعني زيادة الحموضة لهذا السائل، في حين تعني الزيادة في تركيز أيون الهيدروكسيل، زيادة القلوية، وفي حالة الماء النقي، يكون عدد أيونات الهيدروجين، مساوياً لعدد أيونات الهيدروكسيل، أي أنه متعادل وثقاس الحموضة


(تركيز أيونات الهيدروجين) في المواد المختلفة، عن طريق مقياس الأس الهيدروجيني والذي يتراوح بين صفر و14، فالمواد المتعادلة الحموضة، مثل الماء النقي، قيمة الأس الهيدروجيني لها = 7، أما الأحماض، فإن قيمة الأس الهيدروجيني لها تتراوح بين صفر و9،6، أما المواد القاعدية (القلوية)، فإن قيمة الأس الهيدروجيني لها تتراوح بين 7 و14.

ان معظم العمليات الحيوية تتم في مجال محدود من الأس الهيدروجيني، فإذا ما زادت أو قلت درجة الأس الهيدروجيني عن هذا المجال، فإن العمليات الحيوية أو الوظائف الطبيعية للجسم تختل، فعلى سبيل المثال، تبلغ قيمة الأس الهيدروجيني لدم الإنسان 7،4، فإذا ما انخفضت هذه القيمة، اختلفت وظائف الجسم، وقد تحدث الوفاة، كذلك، قد تكون مياه الأمطار حامضية بعض الشيء (تقترب من 6)، نتيجة ذوبان ثاني أكسيد الكريون في قطرات المطر، إلا أن ذوبان بعض أكاسيد الغازات الأخرى الملوثة للجو في مياه الأمطار، قد تسبب زيادة الحموضة في مياه الأمطار، كما هو حادث في الأمطار الحامضية، ويجب ملاحظة أن التغيير في قيمة الأس الهيدروجيني درجة واحدة، يعني تغيير درجة الحموضة بمقدار 10 أضعاف، فالمحلول الذي له قيمة أس هيدروجيني = 3، هو حامضي 10 أضعاف المحلول الذي له قيمة أس هيدروجيني = 4 لأن درجة الحموضة أو القلوية ترتبط بعلاقة لوغاريتمية (لوغاريتم عشري) مع تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول: $PH = - \log [H]$.

7. خصائص أخرى:

من الخصائص الأخرى للماء هو أن درجة تجمده تقل عن الصفر المئوي في حالة وجود مواد ذائبة فيه، وهذه خاصية بالغة الأهمية لحياة الكائنات الحية، حيث أنها تتعرض في المناطق الباردة إلى درجات حرارة تقل عن الصفر في كثير من الأحيان، ولكن الماء في أجسام هذه الكائنات لا يتجمد بسبب المواد الذائبة فيه ولو كان الحال غير ذلك لماقت الكائنات الحية بمجرد تعرضها لدرجات حرارة تقل عن

الصفحة لفترة قصيرة من الزمن، فضلا عن ذلك فإن الماء لا طعم له ولا رائحة ولو كان الحال غير هذا لطفى طعمه ورائحته على طعم ورائحة جميع المواد التي يدخل في تركيبها، وخاصة تلك الموجودة في أجسام الكائنات الحية كثمار وأزهار النباتات ولحوم وألبان الحيوانات.



الفصل الثاني

المياه في دورة مستمرة

• الدورة المائية (أو الهيدرولوجية) Hydrologic Cycle:

ان الماء فوق الأرض في حركة دائمة منذ بلايين السنين مابين سائل أو بخار أو ثلوج، وعليه تعيد الطبيعة تدوير إمدادات المياه الموجودة على الأرض من خلال عملية تسمى "الدورة المائية"، أو الدورة الهيدرولوجية Hydrologic Cycle.

تتكون الدورة المائية والتي هي دورة مغلقة ومستمرة من ثلاث عمليات ترتبط ببعضها البعض هي التدفق الداخل والتدفق الخارج والتخزين، ويضيف التدفق الداخل المياه إلى مختلف أجزاء النظام المائي، بينما التدفق الخارج يأخذ المياه من هذه الأجزاء.

أما التخزين فهو احتفاظ أحد أجزاء النظام بالمياه، ولأن حركة المياه دائرية، فإن التدفق الخارج من أحد الأجزاء هو تدفق داخل في جزء آخر، ولناخذ خزان المياه الجوفية على سبيل المثال، حيث يعد نفاذ المياه إلى باطن الأرض تدفقا داخلا إلى الخزان، بينما خروج المياه من الخزان الجوي إلى تيار مائي يعتبر تدفقا خارجا (وهو في الوقت نفسه تدفقا داخلا بالنسبة للتيار المائي)، ومع مرور الزمن، إذا كان التدفق الداخل إلى الخزان الجوي أكبر من التدفق الخارج، فإن ذلك يعني أن حجم المياه المختزنة في الخزان الجوي سيزداد، والعكس صحيح، ويمكن للتدفق الخارج أن يحدث لأسباب طبيعية، أو من خلال الإنسان.

إن دورة الماء تصف وجود وحركة المياه على الأرض وداخلها وفوقها، وتتحرك مياه الأرض دائما، وتغير أشكالها باستمرار، من سائل إلى بخار، ثم إلى جليد، ومرة أخرى إلى سائل، ودورة المياه ليس لها نقطة إنطلاق، ولكن البعض يعتبر المحيطات بأنها أفضل مكان لها لتنتطلق منها.

إن الشمس تعتبر المحرك الأساسي لدورة الماء، إذ تتكفل الشمس بتوفير الطاقة اللازمة لعملية تبخير الماء من خلال الإشعاع الذي يصل إلى الأرض على شكل أمواج ضوئية وحرارية، تقوم هذه الطاقة بتسخين المياه في المحيطات التي

تتبخر (تتحول) إلى بخار ماء داخل الجو، وتوفر المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار حوالي 90% من الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي عن طريق التبخر، في حين أن نسبة الـ 10% المتبقية تأتي من ارتشاح النباتات. ويقدر العلماء كمية الماء المتبخر من المحيطات في السنة الواحدة بأربعمائة ألف كيلومتر مكعب، ومن اليابسة بستين ألف كيلومتر مكعب، وتحتاج هذه الكمية الهائلة من الماء المتبخر من المحيطات إلى كمية هائلة من الطاقة تقدر بمائتين وخمسين مليون بليون كيلواط ساعة في السنة الواحدة.

تعتبر الحرارة (الطاقة) التي توفرها الشمس ضرورية لحدوث التبخر، إن رفع هذا الكمية الهائلة من الماء إلى ارتفاع عدة كيلومترات فوق سطح البحر يحتاج إلى كمية هائلة من الطاقة لا تقل عن كمية الطاقة التي لزمّت لتبخيرها.

وتقوم الشمس أيضاً بتوفير هذه الطاقة من خلال تسخين الهواء الملامس لسطح الأرض والذي يرتفع إلى الأعلى حاملاً معه بخار الماء، وذلك بسبب أن كثافة الهواء الساخن أقل من كثافة الهواء البارد، وتستخدم هذه الطاقة في كسر جزيئات الماء المتماسكة، لذا يتبخر الماء عند درجة الغليان (100 درجة مئوية) بسهولة، ولكن ذلك يحدث ببطء شديد للغاية عند درجة التجمد، ويتعذر حدوث التبخر عندما تصل الرطوبة النسبية في الجو إلى معدل 100% (درجة التشبع).

وتعتبر كمية الماء المتبخر هي، تقريباً، نفس كمية الماء التي تعود إلى الأرض كأمطار، حسب القياس العالمي، ورغم أن هذه الكميات تختلف من الناحية الجغرافية، إذ تستلم البحار كمية أقل من الأمطار (حوالي 370 ألف كيلومتر مكعب) مقارنة بكميات المياه المتبخرة، والعكس تماماً يحصل في اليابسة التي تستلم كميات أكبر من الأمطار مقارنة بالتبخير منها، ولكن مع ذلك فإن حوالي 10% فقط من الماء المتبخر من المحيطات تنتقل إلى الأرض والتي تقدر بحوالي 90 ألف كيلومتر مكعب، وبمجرد تبخرها فإن جزيئة الماء الواحدة تمضي حوالي 10 أيام في الجو إذ تقوم التيارات الهوائية المتصاعدة بأخذ بخار الماء إلى أعلى داخل الغلاف

الجوي، حيث درجات الحرارة الباردة التي تسبب في تكثيف بخار الماء، وتحويله إلى سحب، تقوم التيارات الهوائية بتحريك السحب حول الكرة الأرضية، وتصطدم ذرات السحب وتسقط من السماء كأمطار، ويسقط بعض من هذه الأمطار كجليد، ويمكن أن يتراكم كأنهار جليدية، وعادة ما توجد هنالك مياه بصفة دائمة داخل الغلاف الجوي، وتعتبر السحب شكلاً من أشكال الرطوبة الجوية التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ومع ذلك فإن الهواء النقي يحتوي على مياه على هيئة ذرات صغيرة يتعذر رؤيتها، ويصل حجم الماء الموجود في الغلاف الجوي في أي وقت إلى حوالي 12900 كيلومتر مكعب (3100 ميل مكعب)، وإذا سقطت كل المياه الموجودة في الغلاف الجوي مرة واحدة كأمطار فإنها ستغطي الأرض بعمق يصل إلى 2.5 سم.

وعلى أية حال فإنه حتى لو كانت السماء زرقاء صافية فلا يزال الماء موجوداً على هيئة بخار وذاذ متناهي الصغر وفي هذه الحالة يتعذر رؤيته بالعين المجردة، وتتوحد ذرات الماء مع ذرات صغيرة من الغبار والدخان في الجو لتشكل رذاذ السحب الذي يتوحد مع بعضه ليكون السحب، وعندما يتوحد رذاذ الماء مع بعضه وينمو في الحجم، يمكن أن يحصل التساقط.

إن كمية الماء التي تسقط على اليابسة والتي تقدر بتسعين ألف كيلومتر مكعب تعود في النهاية إلى المحيطات والبحار حيث يعود ثلاثون ألف كيلومتر مكعب منها بشكل مباشر بواسطة الأنهار، بينما تعود الستين ألف المتبقية بطريقة غير مباشرة من خلال عملية التبخر وذلك بعد أن يتم الاستفادة منها من قبل الكائنات الحية المختلفة وخصوصاً النباتات التي تستهلك الجزء الأكبر من هذه الكمية بامتصاصها من التربة، ومن الجدير بالذكر أن مجموع ما يستهلكه البشر سنوياً من الماء للأغراض الزراعية والمنزلية والصناعية يقدر بثلاثة آلاف كيلومتر مكعب أي ما يساوي ثلاثة آلاف مليون متر مكعب فقط.

ان عملية توزيع مياه الأمطار على جميع مناطق اليابسة لا تتم بشكل متساوي بسبب التفاوت الكبير لتضاريس اليابسة ومقدار بعدها عن المحيطات حيث تسقط الأمطار بكميات كبيرة على المناطق الساحلية، وتقل تدريجياً كلما ابتعدنا عن شواطئ المحيطات والبحار، يدخل جزء من مياه الأمطار الجارية إلى مجاري الأنهار ويتحرك نحو المحيطات، وتسيل مياه الأمطار السطحية والمياه الجوفية لتشكل مياهاً عذبة في البحيرات والأنهار، ومع أن مياه الأمطار لا تذهب كلها إلى الأنهار إلا أن الكثير منها يتسرب إلى داخل الأرض كارتشاح.

يعتبر الماء المخزن منذ فترات طويلة في الكتل والأنهار الجليدية والثلجية جزءاً لا يتجزأ من دورة الماء. وتستحوذ أنتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية) على حوالي 90% من الكتلة الجليدية الموجودة في العالم، بينما تحتوي الغطاءات الجليدية في كرين لاند على 10% من إجمالي الكتلة الجليدية العالمية، ويصل سمك الغطاء الجليدي في كرين لاند إلى حوالي 1500 متر (5000 قدم)، وفي بعض الاوقات يمكن أن يصل سمكه إلى 4300 متر (14000 قدم).

يبقى جزء من المياه قريباً من سطح الأرض لتشكل مياهاً جوفية. وبمجرد وجودها في جوف الأرض ينتقل بعضها إلى المناطق القريبة من سطح الأرض، ويخرج بسرعة كتصريف إلى أحواض المجاري المائية، إلا أنه نظراً للجاذبية الأرضية فإن غالبيتها يستمر في التسرب إلى مسافات أعمق داخل جوف الأرض.

وعلى اية حال فإن بعض المياه التي تتسرب تبقى داخل طبقة التربة الضحلة، حيث يمكن أن تصبح مجرى مائياً من خلال التسرب إلى داخل حوض المجرى، ويمكن أن يتسرب بعض من هذه المياه إلى مسافات أعمق لتغذية مستودعات المياه الجوفية، وإذا كانت هذه المستودعات المائية ضحلة أو مسامية بما فيه الكفاية فإنها تسمح للماء بالتحرك بسهولة من خلالها.

ان اتجاه وحركة المياه الجوفية وسرعتها تحددهما الخصائص المختلفة للمستودعات المائية الأرضية والطبقات الصخرية الحاجزة في الأرض، وتعتمد المياه التي تتحرك تحت الأرض على قابلية نفاذ ومسامية الصخور تحت السطحية، وإذا سمحت الصخور للمياه بالتحرك بحرية نسبياً، فإنها يمكن أن تنتقل إلى مسافات طويلة خلال أيام معدودة، ومع ذلك، فإن المياه الجوفية يمكن أيضاً أن تتسرب إلى مسافات أكثر عمقاً داخل المستودعات المائية الأرضية حيث تستغرق آلاف السنين لتعود مرة أخرى إلى البيئة.

يمكن أن تنتقل المياه إلى مسافات طويلة، أو البقاء في مستودع المياه الجوفية لفترات طويلة من الزمن قبل أن تعود إلى سطح الأرض، أو التسرب إلى داخل الأجسام المائية الأخرى، مثل المجاري المائية والمحيطات، وتجد بعض من المياه الجوفية فتحات على سطح الأرض حيث تخرج منها كينابيع من المياه العذبة، أو قد تقوم الجذور النباتية بامتصاص المياه الضحلة، ثم ترتشح من خلال أسطح الأوراق النباتية، لتعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي.

• توزيع الماء على سطح الأرض:

تغطي المياه حوالي 71٪ من سطح الأرض، ويقدّر علماء الجيولوجيا كمية الماء الموجودة على الأرض بستة عشر بليون كيلومتر مكعب أو ما يساوي ستة عشر بليون بليون طن، وبنسبة كتله إلى كتلة الأرض تبلغ خمسة وعشرون بالآلف.

ويوجد القسم الأكبر من هذه الكمية (تقدر بثلاثة عشر بليون كيلو متر مكعب) في طبقات الأرض الواقعة تحت القشرة الأرضية، وهي موجودة على شكل بخار ماء مضغوط وذلك بسبب الحرارة العالية لباطن الأرض، أما الكمية المتبقية والتي تقدر بثلاثة بلايين كيلومتر مكعب فإن نصفها يدخل في تركيب الصخور والمعادن الموجودة في القشرة الأرضية، بينما يوجد النصف الآخر في المحيطات والبحار والأنهار.

بصورة عامة يتجمع معظم الماء الموجود على سطح الأرض في المحيطات والبحار، إلا أن هناك ما يقرب من مائة مليون كيلومتر مكعب من الماء موجودة على اليابسة في تجاويف القشرة الأرضية وفي البحيرات والأنهار والتربة على شكل سائل، وفي المناطق الجبلية والجليدية على شكل جليد، ويعتقد العلماء أن الماء الموجود على سطح الأرض قد خرج من باطنها، فبعد أن تكوّنت القشرة الأرضية الصلبة بدأ الماء يخرج من باطن الأرض على شكل بخار مع الحمم التي تقذفها البراكين من باطن الأرض إلى سطحها، وذلك مصداقاً لقوله تعالى "والأرض بعد ذلك دحاها أخرج منها مائها ومرعاهـا" (النازعات 30 - 31)، ويقدر علماء الجيولوجيا أيضاً كمية الماء الذي يخرج من باطن الأرض في السنة الواحدة بحوالي كيلومتر مكعب واحد.

عموماً يقوم هذا المخزون الضخم من الماء المحبوس تحت القشرة الأرضية بتعويض كمية الماء الموجودة على السطح إذا ما نقص بسبب هروب بعضه إلى الفضاء الخارجي أو اتحادها بشكل دائم مع بعض العناصر والمركبات الأرضية. ويتفرد كوكب الأرض من بين جميع كواكب المجموعة الشمسية بوجود هذه الكمية الضخمة من الماء على سطحه وذلك بعد أن تأكد للعلماء من خلال إرسال مركبات فضائية إلى كواكب المجموعة الشمسية أن سطوحها تخلو تماماً من الماء.

• البيئة البحرية:

إن كمية المياه الموجودة في المحيطات ليست ثابتة فهي تختلف باختلاف المراحل المناخية التي مرت على الأرض، إذ تتغير وتتشكل خلال الفترات المناخية الباردة مزيد من الأنهار والمجاري الجليدية، مما يؤدي إلى تدني مستوى الماء في المحيطات والعكس صحيح خلال الفترات المناخية الحارة، وكان مستوى الماء في المحيطات خلال العصر الجليدي الماضي أقل بحوالي 122 متراً (400 قدم) عن معدل اليوم، وقبل حوالي 3 مليون سنة، عندما ارتفعت درجة حرارة جوف الأرض، ارتفع مستوى الماء في المحيطات إلى أعلى بمعدل بلغ 50 متراً.

وكما ذكرنا سابقاً تغطي المحيطات الآن ما يقرب من سبعين بالمائة من سطح الأرض، بينما تشكل اليابسة النسبة المتبقية، ويبلغ متوسط ارتفاع اليابسة عن سطح البحر ما يقرب من كيلومتر واحد، بينما يبلغ متوسط انخفاض المحيطات عن سطح البحر أربعة كيلومترات تقريباً، إن تحديد نسبة مساحة سطح اليابسة إلى مساحة سطح المحيطات لم يتم بطريقة عشوائية بل تم تقديره بشكل بالغ الدقة بقدره الله تعالى حيث بينت دراسات العلماء أن أية زيادة أو نقصان فيها قد يحول دون ظهور الحياة على الأرض، فمتوسط درجة حرارة سطح الأرض سيختلف عن الرقم الحالي البالغ خمسة عشر درجة مئوية فوق الصفر، وذلك بسبب الاختلاف الكبير في الحرارة النوعية لكل من تراب اليابسة وماء المحيطات.

وستتغير كذلك كمية ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي بسبب تفاوت نسب امتصاص البر والبحر لهذا الغاز الذي يعتبر مصدر الغذاء الرئيسي لجميع الكائنات الحية، وكذلك فإن كمية الماء التي ستسقط على اليابسة ستزداد أو تنقص تبعاً لقيمة النسبة بين مساحة كل من البر والبحر.

يبلغ معدل عمق البحار حوالي 3700م، ولكن بمقارنة ذلك بقطر الكرة الأرضية والذي يصل إلى 13250 كم، فهذا يعني بأن البحار ما هي إلا طبقة مائية رقيقة تغطي القشرة الأرضية.

وعلى أية حال فيبحار العالم مقسمة إلى أربعة أقسام رئيسية وهي المحيطات (الأطلنطي، الباسيفيكي، الهندي، القطبي)، والقارة القطبية محاطة بدائرة القطب الجنوبي والذي يتصل بثلاثة روافد مائية كبيرة تتصل شمالاً بالمحيطات الأطلنطي والهندي والباسيفيكي، وهذه المحيطات لا تنفصل عن بعضها البعض إلا بالقارات، البحار والمحيطات الأخرى الصغيرة مثل المحيط الأركتيكي Arctic Ocean والبحر الأبيض المتوسط Mediterranean Sea يظهران من أطراف المحيطات الكبيرة.

ان الانحناء الخارجي في سطح الأرض يجعل المناطق القريبة من خط الاستواء تستقبل طاقة ضوئية أكثر من مثيلاتها من أقطاب الأرض وهذا يتسبب فيما يسمى بالتدرج الحراري. هذا التدرج الحراري الناتج من المناطق الاستوائية الى القطبية يتسبب في تكوين النظام الطقس والتحرك المائي وكذلك يتسبب في تقسيم المناطق الى قطبية ومعتدلة وغيرها.

جدول 2 أحد التقديرات للتوزيع العالمي للماء

مصدر الماء	حجم الماء بالكيلومترات المكعبة	حجم الماء بالأميال المكعبة	نسبة المياه المعنية	نسبة الماء بأكملها
المحيطات والبحار والخلجان	1,338,000,000	321,000,000	- -	96.5
الكتل والأنهار الجليدية والثلوج الدائمة	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
المياه الجوفية	23,400,000	5,614,000	- -	1.7
عذب	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
مالح	12,870,000	3,088,000	- -	0.94
رطوبة التربة	16,500	3,959	0.05	0.001
أرض دائمة التجمد	300,000	71,970	0.86	0.022
البحيرات	176,400	42,320	- -	0.013
عذب	91,000	21,830	0.26	0.007

0.006	- -	20,490	85,400	مالح
0.001	0.04	3,095	12,900	الفلاف الجوي
0.0008	0.03	2,752	11,470	مياه المستنقعات
0.0002	0.006	509	2,120	الأنهار
0.0001	0.003	269	1,120	المياه البيولوجية
100	-	332,500,000	1,386,000,000	الإجمالي
المصدر: موارد المياه، موسوعة المناخ والطقس. أعدته للنشر أس. آتش. شينيدن، مطبعة جامعة أكسفورد، نيويورك، المجلد 2 ص 817 - 828				

ان توزيع القارات والمحار على سطح الكرة الأرضية لا يتبع لأي نظام متشابه فحوالي ثلثي اليابسة موجود في النصف الشمالي من الأرض، بينما 80% من النصف الجنوبي مغطى بالماء، المحيط الباسيفيكي يكون حوالي نصف مساحة مجموع بحار العالم كما يتبين من الجدول (3) والذي يوضح بعض خصائص أكبر البحار والمحيطات في العالم.

جدول رقم (3) بعض المقارنات الوصفية للمحيطات الكبيرة

المحيط	المساحة	الحجم	متوسط العمق	أكبر عمق
	(10×10^6 كم ²)	(10×10^6 كم ³)	(متر)	(متر)
الباسيفيكي	165.2	707.6	4282	11.022
الأطلنطي	82.4	323.6	3926	9.200
الهندي	73.4	291.0	3963	7.460
القطبي	14.1	17.0	1026	4.300
الكاربيبي	4.3	9.6	2216	7.200
الأبيض المتوسط	3.0	4.2	1429	4.600

• المياه العذبة السطحية:

وهي تلك المياه التي تتميز بضآلة كمية الأملاح بها أو حتى انعدامها في بعض الأحيان، وتعتبر الأنهار والجداول والجليد القطبي والأمطار المصدر الرئيسي للمياه العذبة، يعتبر الماء العذب الموجود على سطح الأرض من أجزاء دورة الماء، الذي يعد ضرورياً لكل مناحي الحياة، وتشمل المياه العذبة السطحية كلا من المجاري المائية، والمستنقعات، والبحيرات، والخزانات، والأراضي المنخفضة الرطبة المحتوية على ماء عذب.

ان كمية الماء العذب الصالحة للاستهلاك الآدمي لا تتجاوز 0.3% من الماء الموجود في الكرة الأرضية (جدول 4)، و يوجد أربعة أخماس هذه القيمة في القطبين المتجمدين الشمالي و الجنوبي، وتشير بعض التقديرات الى ان ما يزيد على 96% من المياه العذبة محجوز بالأنهار والكتل الجليدية ويتضمن هذا الماء، ماء البحيرات والأنهار والمياه الجوفية الموجودة في أقل من نصف ميل عمقاً، ويدخل في هذا، حساب كمية الماء العذب الموجود على هيئة بخار ماء في الغلاف الجوي، الذي سوف يتحول في النهاية إلى أمطار، والرطوبة الموجودة في تربة الأرض السطحية، أما مصادر الماء العذب المتمثلة في الأنهار والبحيرات فهي تشكل حوالي 93.100 كيلومتر مكعب (22.300 ميل مكعب)، أي حوالي 1/700 من 1% من إجمالي الماء. ولكن هذه المياه في الواقع الطبيعي غير منتظمة التوزيع فعلى سبيل المثال تمثل الجبال القطبية غالبية الماء العذب الموجود على سطح الكرة الأرضية، حيث تصل نسبتها إلى حوالي 2,2% من إجمالي كمية المياه في الأرض، ممثلة ما يزيد عن ثلاثة أرباع مخزون الماء العذب في العالم.

ويحتوي نهر الامازون وحده على نحو 10% من إجمالي كمية المياه العذبة، في حين يحتوي 15 نهراً أخرى في اتحاء العالم على 33% من هذا الإجمالي فقط، فضلاً عن ذلك يوجد حوالي 20% من المياه العذبة في بحيرة واحدة ألا وهي بحيرة بيكال في القارة الآسيوية، ونفس هذه النسبة نفسها نجدها مخزنة في البحيرات

الكبرى في الولايات المتحدة الأمريكية، وتحتفظ الأنهار بحوالي 0.006% فقط من المياه العذبة في العالم، ولا تزال الأنهار والبحيرات تشكل معظم مصادر المياه التي يستخدمها الناس يومياً.

جدول 4 مصادر المياه الرئيسية			
	الحجم (1000) كم ³	% من إجمالي المياه	% من إجمالي المياه العذبة
المياه المالحة			
المحيطات	1338.000	96.54	
المياه الجوفية المالحة/العسرة	870 12	0.93	
بحيرات المياه المالحة	85	0.006	
المياه الداخلية			
الطبقات الجليدية السطحية، الغطاء الجليدي الدائم	24064	1.74	68.7
المياه الجوفية العذبة	10530	0.76	30.06
الطبقات الجليدية القاعية، المناطق المتجمدة	300	0.022	0.86
بحيرات المياه العذبة	91	0.007	0.26
رطوبة التربة	16.5	0.001	0.05
الرطوبة في الغلاف الجوي	12.9	0.001	0.04
المستنقعات، الأراضي الرطبة*	11.5	0.0002	0.03
الأنهار	2.12	0.0001	0.006

المياه التي تحتويها النباتات*	1.12		0.003
إجمالي المياه	1386000	100	
إجمالي المياه العذبة	35029		100
* في العادة تكون مياه المستنقعات والأراضي الرطبة والمياه التي تحتويها النباتات مزيجاً من المياه العذبة والمالحة			

تتعرض المياه الموجودة في الأنهار والبحيرات إلى تغييرات دائمة، نتيجة لكمية المياه الداخلة والخارجة إليها من خلال التساقط، والمياه الجارية على سطح الأرض، والمياه الجوفية، وتدفقات أفرع الأنهار. وتشمل المياه الخارجة عملية التبخر وتصريف المياه السطحية، كما يستخدم الناس الماء أيضاً للوفاء باحتياجاتهم. وتتغير كمية الماء وموقعه على مدى الزمن والمسافات، سواء من الناحية الطبيعية أو بمساعدة الإنسان.

يستهلك 40% من المياه العذبة المتوافرة لأغراض الاستهلاك العام والمتزايد باستمرار والذي يفوق معدل النمو السكاني في كثير من الأحيان، إذ تشير الإحصاءات الحديثة إلى أن الاستهلاك العالمي من المياه العذبة سجل ارتفاعاً سداسياً بين عامي 1900 و 1995 وهو أكثر من ضعف معدل نمو السكان.

ومن الجدير بالذكر أن ثلث سكان العالم تقريباً يعيشون في دول تعاني من ندرة مياه تتراوح ما بين المتوسطة إلى الحادة، ويصل استهلاك المياه فيها إلى أكثر من 10% من موارد المياه العذبة المتجددة، وقد عانت في أواسط التسعينات حوالي 80 دولة يقطنها 40% من سكان العالم من ندرة مياه، وتشير التقديرات إلى أن ثلثي سكان العالم سوف يعيشون في دول تعاني من ندرة مياه خلال أقل من 25 سنة.

تسببت ثلاث عوامل رئيسية في زيادة الطلب على المياه خلال القرن الماضي هي: النمو السكاني، والتنمية الصناعية، توسع الزراعة المروية، واستحوذت الزراعة

على أكبر حصة من المياه العذبة في الدول ذات الاقتصاديات النامية خلال العقدين الماضيين.

أدى التركيز على توفير إمدادات المياه، بجانب ضعف تطبيق القوانين إلى الحد من فعالية إدارة موارد المياه خاصة في الأقاليم النامية.

إن محدودية المصادر المائية والتزايد المستمر في استهلاك المياه منذ عام 1950، جعل الكثير من دول العالم يواجه ضغطاً متسارعاً على مصادره المائية، ففي أوروبا مثلاً ارتفع حجم استهلاك المياه من 100 كيلومتر مكعب في العام 1950 إلى 550 كيلومتر مكعب في العام 1990، يمكن تجاوز هذا الارتفاع عن طريق رفع كمية الاستهلاك من المياه وهو ما يمثل حلاً على المدى القريب لكنها غير مجدية على المدى البعيد، وهنا يأتي دور علم الهيدرولوجي الذي يهتم بدراسة دورة المياه في الطبيعة، وتقدير كمية مصادر المياه والسبل السليمة لإدارتها لتحقيق التنمية المستدامة، ولا بد من التنويه إلى أن أي خطة لإدارة مصادر المياه، يجب أن تقوم على أساس تخمين وتقدير كل من كمية ونوعية المصادر المائية المتوفرة، إذا ما تم توزيع هذه النسبة الضئيلة من المياه العذبة الصالحة للشرب حسب توزيع الكثافة السكانية على الأرض، فإنها ستغطي احتياجات البشر، ولكن في الواقع لا يوجد هناك عدالة في توزيع الموارد في الطبيعة بشكل عام، مثلاً نجد أن كمية الأمطار في مناطق مثل المناطق الاستوائية تصل إلى نحو عدة أمتار في حين أنها شبه معدومة في بعض المناطق الصحراوية، ويظهر عدم التوازن هذا بصورة واضحة في حوض الأمازون الذي يستأثر على نسبة 20 بالمائة من المياه العذبة في الأرض في حين أن يحوي نسبة ضئيلة جداً من سكان العالم، وحتى داخل القارات نفسها هناك تباين كبير بين كمية الأمطار والكثافة السكانية، وبشكل عام فإن كثافة الأمطار تتركز على المناطق الجبلية والتي عادة ما تكون ذات كثافة سكانية منخفضة، في حين أن المناطق المنبسطة والتي هي عادة تكون ملائمة للسكن والزراعة تحصل على نسبة قليلة من الأمطار، وأفضل مثال على هذا هو بريطانيا حيث أن المرتفعات الاسكتلندية ذات الكثافة السكانية المتدنية، تصل نسبة تساقط الأمطار فيها إلى ما

يقارب ثلاثة أمتار في السنة، وكثافتها السكانية تبلغ فقط شخصين لكل كيلومتر مربع، في حين أنه في مناطق جنوب شرق بريطانيا ذات الكثافة السكانية البالغة 500 شخص لكل كيلومتر مربع تتدنى نسبة تساقط الأمطار إلى 0.6 متر في السنة، هناك بعض الإحصائيات تشير إلى أن الزراعة تستهلك 65 بالمائة من المياه المتجددة، وللأسف فإن نحو 75٪ من مياه الري تضيع هباء بسبب استخدام اساليب مقيمة في الري.

بينما تستهلك الصناعة ما يقارب الـ 20 بالمائة، في حين يبلغ الاستهلاك العام 7 بالمائة فقط، يظهر الجدول 5 بعض الأمثلة على توفر المياه في عدد من الدول التي تعتبر غنية أو فقيرة في المياه.

ومن هنا نلاحظ أنه حتى على المستوى المحلي أو الإقليمي يمكن أن يكون هناك فرق كبير في توزيع المياه وتوفرها للسكان.

جدول 5 يظهر توزيع المياه العذبة في بعض بلدان العالم

الدولة	مصادر المياه العذبة ($10^3 m^3$) شخص/عام	الدولة	مصادر المياه العذبة ($10^3 m^3$) شخص/عام
الدول الغنية بالمياه	1.4	جنوب أفريقيا	1.2
جوانا	230	السودان	1.1
ليبيريا	90	المانيا	0.8
فنزويلا	44	الدول الفقيرة بالمياه	0.7
البرازيل	35	بلجيكا	
الإكوادور	29	اليمن	

0.7	الجزائر	27	بورما
0.6	هولندا	18	الكاميرون
0.5	كينيا	13	جواتيمالا
0.4	فلسطين	10	نيبال
0.2	سنغافورة	الدول التي تعاني من نقص بالمياه	
0.2	الأردن	3.6	البرتغال
0.1	السعودية	3.4	غانا
0.08	مالطا	2.8	أسبانيا
0.03	مصر	2.7	الباكستان
0.0	البحرين	2.3	الهند
		2	بريطانيا

After Newson (1992), Overseas Development Administration (1993) and Postel (1993)

• المياه الجوفية والينابيع:

يعتمد حوالي 2 مليار شخص، يمثلون ثلث سكان العالم تقريباً على إمدادات المياه الجوفية، ويستهلكون حوالي 20% من المياه العالمية (700600 كم³) سنوياً يأتي معظمها من أحواض المياه الجوفية الضحلة، ويعتمد الكثير من سكان الريف اعتماداً كاملاً على المياه الجوفية، فضلاً عن ذلك قد تكون المياه الجوفية هي المصدر الرئيسي للمياه كما هو حاصل في شبه الجزيرة العربية، والتي تعتبر من المناطق المجربة بمعدل أمطار أقل من 100 ملم في العام، ولا توجد بها موارد مياه سطحية تذكر، وبذلك تعتمد هذه المنطقة اعتماداً كلياً على المياه الجوفية،

ومحطات التحلية لتلبية احتياجاتها من الماء، وقد أدت الزيادة الكبيرة في الطلب على المياه إلى ضغوط متزايدة على الموارد القليلة المتاحة.

أما الينابيع فإنها تنتج من عملية تدفق المياه بفعل امتلاء أحد المستودعات المائية الأرضية إلى النقطة التي تتدفق فيها المياه إلى سطح الأرض. وتتراوح الينابيع من ينابيع صغيرة الحجم، وهي التي تتدفق مباشرة بعد هطول أمطار غزيرة، إلى ينابيع كبيرة، تتدفق منها مئات الملايين من اللترات يومياً، يمكن أن تتكون الينابيع داخل أي نوع من أنواع الصخور، غير أنها غالباً ما توجد في الحجر الجيري، وصخور الدولوميت، التي يمكن أن تتصدع بسهولة وتحلل بمياه الأمطار لتصبح حامضية، وعندما تتحلل وتتصدع هذه الصخور يمكن أن تتشكل الفراغات التي تسمح بتدفق الماء.

الفصل الثالث

مصادر تلوث المياه

تلوث الماء Water Pollution

كان هناك نوع من الاعتقاد السائد لدى الجميع، وهو اعتقاد خاطئ، بأن الأنهار والبحيرات والمحيطات هي أنسب مكان لإلقاء مخلفات المدن والمخلفات الصناعية وأي فضلات أخرى يراد التخلص منها، وأن البيئات المائية لها القدرة الكافية للتخفيف من هذا التلوث ومن ثم تستعيد توازنها المعهود، وقد يكون هذا الاعتقاد صحيحاً بعض الشيء في حالة ككون الملوثات قليلة، ولكن تزايد فعاليات الإنسان والنمو الصناعي والزراعي والتجمعات البشرية ادخل العديد من التأثيرات السلبية التي تنعكس بصورة واضحة على دورة المياه في الطبيعة ابتداء من مرحلة تبخر المياه من الأرض انتهاء بعودتها ثانية إليها محملة بالملوثات المختلفة، وقد يكون للطبيعة دور إيجابي في تحسين كثير من حالات تلوث المياه حيث تسهم في إزالة أو تقليل عدد من الملوثات المضافة من قبل الإنسان إلا أن هذا السلاح الطبيعي ضعيف ويزداد ضعفاً مع زيادة النمو الصناعي وزيادة الملوثات التي تقذف بتراكيز عالية، مما سبب خللاً جسيماً في التوازن البيئي لهذه المسطحات المائية.

يعرف تلوث الماء بأنه: إحداث تلف أو أفساد لنوعية المياه مما يؤدي إلى حدوث خلل في نظامها البيئي بصورة أو بأخرى بما يقلل من قدرتها على أداء دورها الطبيعي بل تصبح مؤذية عند استعمالها أو تفقد الكثير من قيمتها الاقتصادية، ويصفة خاصة مواردها من الأسماك والحياء المائية، كما عرفت منظمة الصحة العالمية WHO تلوث المياه: "بأنه أي تغير يطرأ على العناصر الداخلة في تركيبه بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بسبب نشاط الإنسان، الأمر الذي يجعل هذه المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها أو بعضها، أو بعبارة أخرى عبارة عن التغيرات التي تحدث في خصائص الماء الطبيعية والبيولوجية والكيميائية للماء مما يجعله غير صالح للشرب أو للاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية".

وفي جانب آخر فالمقصود بتلوث الماء هو إفساد نوعية مياه الأنهار والبحار والمحيطات بالإضافة إلى مياه الأمطار والآبار الجوفية مما يجعل هذه المياه غير صالحة للاستعمال، ويعد تلوث المياه إحدى صور الفساد الذي يتسبب فيه الإنسان بطرق مباشرة أو غير مباشرة لأنه على الرغم من معرفة الإنسان لأهمية المياه إلا أنه اختارها لطرح فضلاته عن طريق المجاري الملوثة بالمواد العضوية والمواد الكيميائية والبكتيريا الضارة التي تنتقل إلى الإنسان عن طريق الجلد والجروح والضم عند الشرب، أو الاستخدام أو السباحة في هذه المياه الملوثة، وكذلك عند تناول الإنسان الأسماك والكائنات البحرية أو النهرية المصابة بالآحياء الدقيقة المنتشرة في مثل هذه المياه الملوثة، ولا ننسى أن أمراض التيفوئيد والنزلات المعوية والاسهال والقيء والكوليرا والتهابات الكبد والجهاز العصبي وغيرها من أجهزة الجسم أسبابها تلوث المياه الناتجة عن مخلفات الإنسان، وتمثل المياه بالرغم من أساسياتها للحياة وسيطاً أولياً للأمراض الماثية كالقوليرا والبلهارزيا... الخ. وهناك قلق متزايد في الوقت الحاضر بشأن زيادة نسبة العناصر الكيميائية في مياه الشرب والتي من شأنها التسبب بأمراض سرطانية أو تأثيرها المحتمل في تغيير الصفات الوراثية للأبناء نتيجة حدوث تحولات طارئة في الكروموسومات أو المورثات، كما يمكن أن يؤدي وجود معادن ثقيلة في مياه البحر إلى تلوث الثروة السمكية وهو ما يمكن أن يؤثر فيما بعد على الإنسان.

بصورة عامة يمكن تقسيم تلوث الماء إلى ثلاث أنواع رئيسية:

1. التلوث الطبيعي:

وهو التلوث الذي يغير خصائص الماء الطبيعية ويجعله غير مستساغ للاستعمال الإنساني لتغير لونه ومذاقه واكتسابه الرائحة الكريهة.

2. التلوث الكيميائي:

وهو التلوث الذي يصبح فيه الماء ساماً نتيجة وجود مواد كيميائية خطيرة فيه مثل: مركبات الرصاص والزرنيخ والمبيدات الحشرية الخ، ويعد التلوث الكيميائي للمياه واحداً من أهم وأخطر المشاكل التي تواجه الإنسان المعاصر.

3. التلوث البيولوجي:

ونقصد بهذا التلوث وجود مايكروبات أو طفيليات في الماء، أو وجود احياء نباتية كالمطحالب بكميات كبيرة تسبب في تغير طبيعة المياه ونوعيتها وتؤثر في سلامة استخدامها، وسنحاول هذا النوع من التلوث بالتفصيل في الفصول القادمة.

• مصادر تلوث الماء:

إن العديد من أنشطة الإنسان في البيئة تسبب في تلوث الماء منها:

1. مصادر التلوث المنزلية:

تعتبر مياه الصرف الصحي المتدفقة من المنازل مصدراً رئيسياً لتلوث المياه بكافة أنواعها، حيث تقف وراء طائفة واسعة من الملوثات، بما في ذلك البكتيريا، والفيروسات، والنترات من المخلفات المنزلية، والمركبات العضوية.

فالمواد الكيميائية المخزونة في المنازل بطريقة غير سليمة أو التي يتم التخلص منها مع مياه الصرف الصحي يمكن أن تكون مصدراً خطيراً لتلوث المياه. ومن بين هذه المواد الأصباغ، سوائل التنظيف، والزيوت، والأدوية، والمطهرات ... الخ.

وتصبح المشكلة أخطر بكثير في حالة حدوث تسرب في شبكات الصرف، أو في حالة الصرف المباشر في باطن الأرض.

ان التخلص من مياه المجاري في الكثير من الدول يتم عن طريق تصريفها الى المسطحات المائية كالأنهار والبحار والبحيرات، على الرغم من خطورة ذلك، حيث تكون هذه المياه ملوثة بالمواد العضوية و المواد الكيميائية (كالصابون والمنظفات الصناعية) وبعض أنواع البكتيريا والميكروبات الضارة، بالإضافة الى المعادن الثقيلة السامة والمركبات الهيدروكربونية، ويؤدي ذلك الى حدوث أضرار جسيمة مثل تقليل نسبة الأوكسجين في الماء و الموت الجماعي للأسماك والأحياء المائية وبعض المياه، كذلك انتقال الكثير من مسببات الأمراض الخطيرة التي يمكن أن تصيب الإنسان من جراء تلوث المسطحات المائية بمياه الصرف الصحي (الغير معالجه) مثل بكتيريا السالمونيلا salmonella التي تسبب أمراض حمى التيفوئيد و النزلات المعوية، وبكتيريا الشيكللا shigella التي تسبب امراض الأسهال، وتسبب المياه غير المأمونة وسوء الصرف الصحي في الإصابة بما يقدر ب 80 في المائة من مجموع الأمراض في العالم النامي، ويتجاوز المعدل السنوي للوفيات 5 ملايين، وهو عشرة أمثال عدد القتلى في الحروب، في المتوسط، سنويا، علما ان أكثر من نصف الضحايا هم من الأطفال، وليس هناك تدبير وحيد أقدر على خفض الإصابة بالأمراض وإنقاذ حياة السكان في العالم النامي من توفير المياه المأمونة والصرف الصحي اللائزم للجميع.

وعلى اية عام تعتبر مياه المجاري واحدة من أخطر المشاكل على الصحة العامة في معظم دول العالم الثالث، لأن أغلب هذه الدول ليس لديها شبكة صرف صحي متكاملة، بل في بعض المدن الكبيرة لا توجد شبكة صرف اصلا، والمشكلة الكبرى عندما تلقي المدن الساحلية مياه الصرف الصحي في البحار دون معالجة مسببة بذلك مشكلة صحية خطيرة، كما أن استخدام الحفر الامتصاصية في الأماكن التي لا يتوفر فيها شبكة صرف صحي له أضراره على الصحة العامة خاصة إذا تركت مكشوفة أو أقيت مخلفاتها في الأماكن القريبة من المساكن حيث يتوالد البعوض والذباب مما يسبب الكثير من الأمراض، فضلا عن ما تقدم تحتوي مياه المجاري على كمية كبيرة من المواد العضوية وأعداد هائلة من

الكائنات الحية الدقيقة الهوائية واللاهوائية. وعند وصولها إلى المياه السطحية، تعمل الكائنات الدقيقة الهوائية على استهلاك الأوكسجين لتحليل المواد العضوية مسببة نقصاً في الأوكسجين مما يؤدي إلى اختناق الكائنات الحية التي تعيش في المياه وموتها، وعند موت هذه الكائنات تبدأ البكتيريا أو الكائنات الدقيقة اللاهوائية بتحليلها محدثة تعفن ورائحة كريهة في هذه المياه، وعلى أية حال يظل الصرف الصحي المصدر الأكبر حجماً لتلوث البيئات المائية العذبة والبحرية والساحلية على نطاق العالم، وقد زاد تصريف مياه المجاري والصرف الصحي على السواحل زيادة كبيرة خلال العقود الثلاث الماضية، إضافة لذلك وبسبب ارتفاع استهلاك المياه في المناطق الحضرية الساحلية، أصبحت إمدادات المياه تفوق طاقة شبكات المجاري المتاحة مما يزيد من حجم المخلفات السائلة وتفشي المشاكل الصحية، ولم يقتصر الأمر على المياه السطحية بل امتد إلى المياه الجوفية، وعلى سبيل المثال وفي أكثر دول العالم تقدماً، أي في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث المياه الجوفية توفر أكثر من نصف مياه الشرب لمجمل سكانها، لم تنقطع حالات تلوث المياه الجوفية في كل الولايات منذ عقد السبعينيات، وفي الفترة من 1971 وحتى 1985، سجل تفشي أكثر 245 مرضاً مرتبطاً بالمياه الجوفية في الولايات المتحدة، وتشير بيانات وكالة حماية البيئة الأمريكية US Environmental Protection Agency، المعروفة اختصاراً باسم EPA، إلى أن 10 في المائة من كل شبكات إمدادات مياه الشرب من المياه الجوفية تنتهك معايير مياه الشرب النظيفة نتيجة للتلوث البيولوجي الناتج بصورة أساسية من شبكات المجاري، والذي يشمل البكتيريا والفيروسات والطفيليات.

2. المصادر الصناعية:

تعتبر مخلفات المصانع من أكبر مصادر تلوث مياه الأنهار والبحار والمحيطات، فالماء يدخل في الصناعة كمادة خام وكوسط ناقل ومادة منظمة وكمبرد وكمصدر بخار في التدفئة وإنتاج الطاقة، وفي الصناعة الكيميائية يكون الماء المادة الأكثر استعمالاً، وبذلك تحتوي مخلفات الصناعة على الكثير من المواد

الكيميائية، والتي يتم تصريفها إلى المسطحات المائية مثل الأنهار والبحار، وتعتمد أنواع المركبات الكيميائية المختلفة على نوع الصناعات القائمة، كما وتعتمد على نوع المعالجة التي تجري في كل مصنع، ولكن تشترك أغلب المصانع في إلقاءها الكثير من المواد مثل: الأحماض والقواعد والمنظفات الصناعية والأصبغ، وبعض مركبات الفسفور والمعادن الثقيلة السامة مثل الرصاص والزنك مما يتسبب عنها تلوثا شديدا للمياه التي تلتقي بها هذه الملوثات.

تحتوي مياه المصانع وفضلاتها ما نسبته 60 بالمائة من مجموع المواد الملوثة للبحار والبحيرات والأنهار، ويصدر أغلب الملوثات من مصانع مثل مصانع الدباغة والرصاص والزنك والنحاس والنيكل ومصانع الدهانات والإسمنت والزجاج والمنظفات ومصانع تعقيم الألبان والمسالخ ومصانع تكرير السكر.

ان المصانع في الدول النامية وحتى الدول المتقدمة لا تلتزم بضوابط الصرف الصناعي، بل تلتقي بفضلاتها في المياه، ففي الولايات المتحدة وجدت مخلفات سامة في مياه الأنهار والبحار المحيطة بالمصانع، وفي القاهرة أجريت دراسة علي اثني عشر محطة لمعالجة مياه الشرب ووجدت جميعها تعاني من عدم انضباط في تصريف النفايات السائلة الصناعية، وتجدر الإشارة إلى أن الطرق التقليدية لتنقية المياه لا تقضي علي الملوثات الصناعية مثل الهيدروكربون والملوثات غير العضوية والمبيدات الحشرية وغيرها من المواد الكيميائية المختلفة، وقد يتفاعل الكلور المستخدم في تعقيم المياه مع الهيدروكربونات مكونا مواد كاربوهيدراتية كلورينية متسرطنة.

بصورة عامة فان الفضلات الصناعية تعد مشكلة كبيرة في البلدان المتطورة، وفي بعض المناطق ذات النشاط الصناعي الكثيف كانت الفضلات الصناعية عدة اضعاف الفضلات المنزلية ومن اشهر الصناعات التي تكون مصحوبة بفضلات ملوثة كثيرة هي:

1. الصناعات الغذائية:

هذه الصناعات عادة تكون مصحوبة بفضلات هائلة وخاصة صناعة منتجات الالبان واللحوم وتكرير سكر البنجر، ويسبب محتواها العالي من المواد العضوية نضوب الاوكسجين عندما تصل الى المياه.

2. صناعات القطن والصوف:

تعد هذه الصناعات مصدرا لفضلات كثيرة ناتجة من طبخ الالياف وازالة النشا من الاقمشة، وتكون هذه الفضلات عالية القلوية، ان انتاج الف كيلو غرام من الصوف يؤدي عادة الى 1500 كيلو غرام من الشوائب و300 الى 600 كيلو غرام كيميائيات مختلفة مع ما مجموعه 200 ملغرام / لتر من المتطلب الحيوي للاوكسجين.

3. الورق والصناعات المرتبطة:

تنتج هذه الصناعات قسرا كبيرا من ملوثات الماء، وتكون الملوثات خليطا من مركبات كيميائية ورقاقات الخشب المتناثرة وقطع القلف والياق السليلوز، حيث يلفظ حوالي 50% من الخشب الداخلى الى المصانع كمادة فضلة.

4. صناعة المعاطف واللدائن:

هذه المصانع تطرح فضلات هائلة ذات متطلب حيوي للاوكسجين عالية جدا، كما تكون المياه المطروحة من هذه المصانع ذات طعم ورائحة كريهين جدا، وتنتج هذه الصناعات فضلات هيدروكربونية ومركبات عضوية اخرى كثيرة.

1. صناعة الفلزات:

تنتج مصانع الفولاذ ماء فضلة من غسل غازات فرن الصهر ومن حمام الفولاذ الحامضي، وتشيل هذه الفضلات لأن تكون حامضية، وتحوي فينولات وحجر كلس وقلويات وزيوت وقشور الطحن ومواد صلبة عديدة عالقة في المياه.

2. الصناعات الكيميائية:

وتطرح هذه الصناعات فضلات عديدة ملوثة للبيئة المائية مثل هيدروكربونات وحوامض وقلويات وسيانيدات وعناصر ثقيلة وأملاح ومركبات فينولية ومركبات كبريت وكاربونات مهلجنة وغيرها الكثير.

• الملوثات الناتجة من العمليات الصناعية:

بصورة عامة تلقي المصانع المختلفة بعدد هائل من المواد الكيميائية والتي يمكن أن تشكل خطراً على صحة الإنسان. ويمكن تلخيص أهم المواد الكيميائية التي تلوث المياه بالمواد التالية:

1. مركبات حامضية أو قلوية:

تعمل كل من المركبات الحامضية أو القلوية على تغيير درجة الحموضة للماء، إن ارتفاع درجة حموضة المياه له تأثير سلبي على صحة الإنسان كما يؤدي إلى تكون الصدأ في الأنابيب وتأكلها، أما التلوث بالقلويات فيؤدي إلى تكون الأملاح مثل كربونات وبيكربونات وهيدروكسيدات والكلوريدات، وتسبب كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم عسرة الماء، كما أن مركبات الكلوريدات والسلفات تسبب ملوحة الماء.

2. مركبات النترات والفوسفات:

ان كمية النترات في مياه الشرب طبقاً للمعايير القياسية الكيميائية لا يجب أن تزيد عن 45 ملغم في اللتر، واكدت البحوث إن زيادة محتوى الماء من النترات كان وراء شيوع حالات وبائية من تسمم الأطفال يتميز بأعراض الزرقة نتيجة نقص الأوكسجين في الدم، وكذلك قد وجد إن هناك ارتباط ذا دلالة بين ارتفاع نسبة الإصابة بسرطان المعدة في أجزاء من إنكلترا أو اليابان ومصادر المياه الغنية بالنترات.

تسبب املاح النترات والفوسفات ظاهرة اخضرار الماء (الاشراء الغذائي)، وتتكون الأعشاب الخضراء من الطحالب التي تعتمد في غذائها على عناصر الكربون والنيتروجين والفسفور.

3. المعادن الثقيلة:

تعد الفعاليات الصناعية المصدر الرئيسي لهذه الملوثات الخطرة، ولكن قد تكون المصادر طبيعية اذ توجد العناصر في كل مكان من الأرض في الصخور وفي التربة وتصل الى الماء من العمليات الطبيعية مثل التجوية والتعرية، وان عمليات الترسيب والتبادل الايوني واكسدة واختزال الكيميائية تساهم في تحريك العناصر الثقيلة في البيئة المائية بشكل فعال.

ان أكثر المعادن الثقيلة انتشاراً في المياه هي تلك الناتجة من المصانع وخاصة منصري الرصاص والزئبق، اذ يدخل الزئبق الناتج عن المصانع الكيميائية الى المياه والجميع يعلم بأن الزئبق يهاجم خلايا المخ والجسم يقتلها، ولا يوجد علاج حقيقي لحالات التسمم الناتجة عن الزئبق، ويوجد الزئبق في الماء علي هيئة كبريتيد الزئبق وهو غير قابل للذوبان، ويتواجد ايضاً على شكل عضوي مثل فينول ومثيل وأخطرها هو مثيل الزئبق الذي يسبب شلل الجهاز العصبي والعمى، أما في الأسماك فإن مثيل الزئبق يتراكم داخلها بتركيزات عالية نتيجة التلوث

وينتقل من الأسماك إلى الإنسان، أما الرصاص فإنه ينتقل إلى مياه البحار والأنهار عندما تطرحه المصانع الكيميائية المختلفة، ومن ثم تنقله التيارات البحرية إلى أماكن شاسعة في البحار حيث يتركز الرصاص في الأنسجة اللحمية للأسماك والاحياء المائية الموجودة في هذه البحار والأنهار، ويتركز الرصاص حياتيا عندما يتناول الإنسان هذه الأسماك أو الاحياء المائية الملوثة مما يؤدي إلى حالات من التسمم وهلاك خلايا المخ والموت البطيء للإنسان.

4. الحديد والمنغنيسيوم والكلورين:

يسبب الحديد والمنغنيسيوم تغير لون الماء إلى أشبه بالصدأ ولا يسبب ضررا إلا إذا كان بكمية كبيرة، وأكثر وجودهما في المياه الجوفية، بينما لا يزال تقييغ الكلورين والمياه عالية الملوحة يشكل باستمرار تهديدا خطيرا آخر على البيئة.

5. مركبات عضوية:

كثير من المركبات العضوية تسبب تلوث الماء وأشهرها التلوث بالبتترول ومشتقاته والمبيدات الحشرية والمبيدات الفطرية وغيرها من الكيماويات الصناعية.

6. الهالوجينات:

يستخدم الكلور والفلور لتعقيم المياه من الميكروبات الضارة ولكن عند وجود مواد عضوية أو هيدروكربونات في المياه، فإنها تتفاعل مع الكلور مكونة مركبات هيدروكربونية كلورية مسرطنة.

7. المواد المشعة:

تسبب المفاعلات النووية التلوث الاشعاعي للمياه، وذلك حينما يتم طرح ماء الفضلة المستعمل في تبريد هذه المفاعلات إلى الماء، ويؤدي ذلك إلى اضرار كبيرة بالاحياء المائية الموجودة، وقد تصل هذه الملوثات في النهاية إلى الانسان.

ان الملوثات الاشعاعية عندما تصل الى المياه يذوب بعضها ويتعلق في صورة معادن ثقيلة كالرصاص والنيكل والكاديوم والزرنيخ والزنبق والكوبالت والألنيوم، وعندما تصل هذه المياه الملوثة الى جسم الإنسان تحدث أمراض خطيرة، مثل ذلك الراديوم المشع الذي يسبب السرطان وخاصة سرطان العظام.

8. الأمطار الحامضية:

ان الصناعة هي المصدر الرئيسي لما يعرف بظاهرة الامطار الحامضية (Acid rain) وهي تلك الأمطار التي تكون قيمة الأس الهيدروجيني لها حامضية (غالباً يتراوح بين 4 و5)، وذلك لتكوّن حامضي الكبريتيك والنيتريك الناتجين من تفاعل أكاسيد الكبريت والنيتروجين، الموجودة في الجو، مع قطرات الماء، الموجودة في المطر، على الرغم من أن مياه الأمطار النقية، تكون حامضية بعض الشيء نتيجة ذوبان ثاني أكسيد الكبريت في قطراتها، ولكن تبقى درجة الحموضة مخفضة (يصل رقمها الهيدروجيني إلى حوالي 6) في أغلب الأحيان، وقد يعزى هطول هذه الأمطار الحامضية، إلى بعض الظواهر الطبيعية في بعض الحالات، مثل الأنشطة البركانية. ولكن التلوث الصناعي، وانطلاق كميات هائلة من أكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين، يظل هو السبب الأكبر في تكوّن الأمطار الحامضية، ويرجع التأثير الضار للأمطار الحامضية على البيئة بسبب تغييرها للبيئات المائية المعتدلة إلى بيئات حامضية، مع ما يترافق ذلك من نفوق الكائنات الحية، واختلال التوازن البيئي، في هذه المسطحات المائية، كما تؤدي الى زيادة تسبب ذوبان الفلزات الثقيلة، وتحررها من التربة أثناء جريان المياه (الحامضية) في البحيرات والأنهار، الأمر الذي يؤدي في النهاية، إلى زيادة تركيز الفلزات الثقيلة السامة، مثل: الرصاص، والكاديوم والنحاس في مياه الشرب، وبذلك تتأثر صحة الإنسان من خلال شرب هذه المياه الملوثة، فضلاً عن تأثر الأسماك والكائنات المائية الأخرى.

تزداد مشكلة الأمطار الحامضية تعقيداً بسبب حركة الرياح، التي قد تحمل الأكاسيد المسببة لهذه الظاهرة من مكان إلى آخر، مثلما هو حادث في أمريكا الشمالية، حيث تشير أصابع الاتهام إلى أن ولاية أوهايو والصناعة الأمريكية، تُعدّ مسؤولة عن حوالي 50% من الأمطار الحامضية، التي تسقط على كندا، ومن الجدير بالذكر أن الأمطار الحامضية تؤدي إلى حدوث أضرار بمياه البحيرات بصورة خاصة، حيث تأثرت مئات البحيرات في نصف الكرة الشمالية، خصوصاً في السويد، والنرويج، والمملكة المتحدة، وشمال أمريكا، حيث تبدو، لأول وهلة، أنها بحيرات تحتوي على مياه عذبة شفافة، إلا أنها في حقيقةها مياه ليس بها حياة، نتيجة تأثير الأمطار الحامضية عليها، وقد وصلت هذه البحيرات إلى درجة ملحوظة من الحموضة، بعدما استنفدت مقدرة التربة على معادلة التأثير الحامضي للأمطار (تحتوي التربة على عدد من الأملاح القلوية، مثل: كربونات الكالسيوم، والمغنيسيوم، التي لها القدرة على معادلة الأحماض)، ويحدث مثل ذلك في الأنهار أيضاً مثل نهر "توفدال" "tovdal" بالنرويج الشهير بوجود أسماك السلمون ولكن أصبح بفعل الأمطار الحامضية لا يوجد به أسماك أو أي نوع من أنواع الكائنات الحية.

9. التلوث الحراري:

ومن أشكال التلوث الصناعي أيضاً هو استعمال بعض المصانع ومحطات الطاقة لمياه الأنهار والبحيرات في التبريد، وهذه العملية ستؤدي إلى ارتفاع في حرارة المياه مما يؤثر سلباً على التفاعلات البيوكيميائية في المياه، وكذلك على الأحياء المائية.

إن محطات الطاقة تشع حوالي 60% من الطاقة التي تنتجها على شكل حرارة، لذلك تحتاج إلى كميات هائلة من الماء للتبريد، لمنع ارتفاع درجة حرارة المحركات وشبكة الأنابيب، وهذه المياه تضخ من البحر، أو الأنهار أو البحيرات، وترجع إليها ثانية بدرجات حرارة مرتفعة أكثر من 10-12 °C.

ان درجة حرارة المياه تختلف باختلاف الضوول واختلاف الجو وهذه التغيرات تؤثر على فعالية الإحياء المائية لذلك فان الإحياء المائية قد كيفت نفسها مع هذه التغيرات.

وبما إن لدرجة الحرارة تأثير مهم في ضبط الدورات التكاثرية ومعدلات الهضم ومعدلات التنفس، وعدد من الفعاليات الكيميائية الأخرى التي تحصل في الجسم، فان ارتفاعها المفاجئ بلا شك سيؤدي الى عدد من التأثيرات السلبية في حياة هذه الكائنات، خاصة اذا ما عرفنا ان الحياة عادة تظهر في معدل حراري ضيق نسبيا، فالحيوانات ذات الحرارة الثابتة كالحوانات اللبونة والطيور المختلفة التي تحتوي أجسامها على نظام سيطرة متطور يحافظ على درجة حرارة أجسامها ثابتة لا تتغير مع تغير درجات الحرارة المحيطة بها، لذا سميت بذوات الدم الثابت، لكنه ربما تموت هذه الحيوانات عند تعرضها للدرجات الحرارة العالية جدا أو الباردة جدا، ضمن هذه الظاهرة تكون فاعلية الايض الذي تمثله هذه الكائنات الحية على أبطأ مستوى له عند تعرضها للدرجات الحرارة المنخفضة، وتأخذ بالازدياد عندما تبدأ الدرجات الحرارية بالارتفاع مرة أخرى إلى إن يصل إلى الحد الذي فوقه تعد درجات الحرارة غير ملائمة للايض، وبالتالي فارتفاعها المستمر يؤدي إلى موت الكائن الحي.

يؤدي ارتفاع درجة حرارة المياه ايضا الى تغيير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، ومنها اختزال كمية الأوكسجين الذائب في الماء، فلذلك نجد إن اللتر الواحد من الماء في درجة حرارة 5 م° يمكنه استيعاب 9 سم³ من الأوكسجين، ويتناقص هذا الحجم من الأوكسجين الذائب إلى 6 سم³ للماء عند ارتفاع درجة الحرارة للمياه إلى 20 م°، وبالنتيجة سوف يؤثر على كافة أشكال الحياة التي تعيش في هذه المياه.

كما يؤدي ارتفاع درجة حرارة الماء الى زيادة نمو بعض الطحالب غير الصالحة كغذاء للأحياء المائية، وعندما تموت هذه الطحالب وتتحلل فإنها تستهلك كميات كبيرة من الاوكسجين الذائب في الماء، اضافة الى ما ينتج عنها

من غازات كبريهه وسموم تتراكم سنة بعد أخرى لتقضي على الحياة في الوسط المائي الملوث بها . وفي بعض الاحيان يعمل التلوث الحراري للمياه على أكسدة بعض الملوثات المعدنية التي تلقيها المصانع في المياه مما يؤدي الى وجود بعض الأكاسيد السامة فيه .

إن وصول درجة حرارة المياه إلى 50 درجة مئوية أو أكثر قد وجد أنها تؤدي إلى موت الأسماك واللافقرات فقط، بينما تزدهر عندها بعض أنواع البكتيريا المحبة للحرارة .

3. المصادر الزراعية:

للزراعة أهمية لا بأس بها كمصدر لتلوث المياه رغم أن أهميتها لا تقارن بالتلوث الناتج عن الصرف الصحي، وماء الفضلة الصناعية. ومن أنواع الملوثات الناتجة من الفعاليات الزراعية:

1. فضلات حيوانات المزارع وبقايا النبات:

إن الاستخدام الواسع لفضلات الحيوانات في عمليات التسميد والتي ما زالت طريقة متبعة في مناطق عديدة، وذلك من أجل رفع غلة المحاصيل الزراعية، قد أدى إلى مشاكل بيئية عديدة خاصة إذا ما وصلت هذه الفضلات إلى المياه المجاورة؛ إن سمة مشكلة فضلات الحيوان المحتملة تجعل مشكلة فضلات الإنسان تبدو أقل، إذ تنتج الحيوانات الأليفة حوالي مليون طن متري من فضلات البراز في السنة الواحدة، وحوالي 400 مليون طن متري أخرى فضلات سائلة، فضلاً عن ذلك يمكن أن تولد بقايا النبات من المحاصيل والبساتين تلوثاً بيئياً عندما تحمل امراضاً نباتية وعندما تصل إلى مجاري المياه.

ان فضلات حيوانات المزرعة وبقايا النباتات هي مواد عضوية قابلة للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة التي تحتاج إلى الأوكسجين، وبالتالي عند وجود المواد العضوية، يتم استهلاك الأوكسجين اللازم لبقاء الكائنات الحية في النظام البيئي، فضلاً عن ما تقدم تعمل تعرية التربة الزراعية على زيادة الرواسب في الأنهار والبحيرات، وتقلل الرواسب بما فيها من تربة درجة نقاذية ضوء الشمس في المياه، الذي يقلل بدوره من عملية التمثيل الضوئي في النباتات المائية، ويخفض من قدرة الكائنات التي تعتمد على النظر في انتقاء الغذاء على الإمساك بالفريسة، وتسبب تلف خياشيم الأسماك، وتقلل من فقس البيض، ومن قدرة الصغار على البقاء، كما تعمل هذه الرواسب كناقلة لبعض الملوثات الأخرى، وبعض الأحياء الصغيرة والبكتيريا.

2. التلوث بالمبيدات:

أدى التوسع في استخدام المبيدات بصورة مكثفة في الأغراض الزراعية والصحية إلى تلوث المسطحات المائية بالمبيدات العضوية أما مباشرة عن طريق إلقاءها في المياه، أو بطريق غير مباشر مع مياه الصرف الزراعي والصحي والصناعي التي تصب بهذه المسطحات، كما ويتسرب جزء من هذه المبيدات إلى المياه الجوفية، إضافة إلى ذلك تتسرب المبيدات الحشرية التي ترش بها المحاصيل الزراعية إلى مياه الصرف وإلى مياه الترغ والقنوات التي تغسل فيها معدات الرش مما يؤدي إلى نقلها إلى الأسماك والأحياء المائية والمواشي التي تشرب الماء الملوث، كما تتركز هذه المبيدات في الأرض الزراعية فتنتقل إلى الخضروات والنباتات التي تؤكل نيئة أو مطبوخة فتصل بدورها إلى الإنسان مسببة كثيراً من الأمراض الخبيثة.

3. التلوث بالأسمدة الكيماوية الزراعية:

لقد ساهم انتشار الدعم الزراعي دون شك في زيادة استخدام الأسمدة مما يعكس الأولوية السياسية القصوى الموجهة نحو مضاعفة الإنتاج الغذائي وتقليل

تكلفته، غير ان الانسان أسرف في استخدام الأسمدة والمخصبات الزراعية وأضافها إلى التربة الزراعية بهدف زيادة الإنتاج، دون أن يعلم أن هناك معدلات معينة من هذه الأسمدة لا يمكن أن يستفيد النبات بأي كميات زائدة عنها، لذا فإن هذه الكميات الزائدة عن حاجته من الأسمدة تذوب في مياه الري ومياه الصرف الزراعي ويذهب جزء كبير منها إلى المياه السطحية والمياه الجوفية، ان الاسمدة الزراعية هي المصدر الرئيسي للأملاح المغذية (النترات والنترات والفوسفات) المسؤولة عن ظاهرة الاثراء الغذائي.

• ماهي الاملاح المغذية:

هي تلك الاملاح التي تحتاجها الكائنات الحية وخاصة النباتات بكميات مختلفة لكي تنمو وتزدهر ومن هذه الاملاح الفوسفات والنترات والنترات.

يعتبر الفسفور واحد من العناصر المهمة في العمليات الحيوية في الكائنات الحية، فهو عنصر مهم في تركيب ATP و ADP بالإضافة إلى كونه يدخل في تركيب العظام والأسنان، وهو يوجد في الطبيعة على شكل فوسفات، وتلعب العوامل الجوية كالأمطار والرياح دورا مهما في إيصاله للأنهار والبحار، حيث تمتصه النباتات البحرية ومن ثم يصل إلى الطيور التي تعاش على هذه النباتات، ويوجد الفسفور بكمية كبيرة في فضلات الإنسان والحيوانات والتي تستخدم فيما بعد كسماد للمزروعات، وحديثا ونتيجة التقدم التكنولوجي أصبح الفسفور يدخل في تركيب الأسمدة وبهذه الطريقة، بالإضافة إلى تحلل النباتات والحيوانات الميتة، يتم إيصاله للتربة ومن ثم إلى النباتات، كما يدخل الفسفور في صناعة مساحيق الغسيل مما أدى إلى ارتفاع نسبته في المياه العادمة، وبالتالي إلى حدوث تلوث في الأنهار والبحار والمياه الجوفية مما دفع العلماء إلى البحث عن طرق لإزالة مركبات الفسفور من المياه العادمة، أما عن الكميات التي تصل إلى البحار والمحيطات فهي في العادة تترسب في قاع البحر لتشكل مصدرا مخترنا من مصادر الفسفور.

اما النتروجين فيشكل ما مجموعه 79% من حجم الغلاف الغازي، ويدخل في تكوين الكثير من المواد في العقود الأخيرة استخدم بشكل واسع في صناعة الاسمدة النتروجينية، والنتروجين لا يستخدم بصورة مباشرة من الغلاف الجوي كونه عنصرا خاملا، وإنما يجب أن يتم تحويله إلى مركبات (أملاح) تستطيع بعدها النباتات والإنسان من استخدامه، وهذه التحولات إما أن تكون ناتجة عن البرق أو النشاطات البركانية أو عن البكتيريا الموجودة في التربة، والتي تقوم بتحويل النتروجين إلى نترات ومن ثم تتحول إلى أحماض أمينية وبروتينات.

هذا وتعتبر فضلات الكائنات الحية وتحللها مصدرا مهما أيضا للنتروجين، حيث تقوم البكتيريا بتحويلها إلى نيتريت NO_2 ثم إلى نترات NO_3 ، وبعد ذلك إما يتم امتصاصها عن طريق الجذور أو تتحول إلى غاز النتروجين N_2 الذي يعود إلى الجو، تنقل الأنهار في أوروبا وجنوب وشرق آسيا أعلى معدلات النتروجين غير العضوي المذاب من كل المصادر البرية إلى البحار، ويضعف مستويات النتروجين الفقدان الواسع النطاق للحواجز الطبيعية مثل الأراضي الساحلية الرطبة والشعب المرجانية.

• ظاهرة الاثراء الغذائي:

ان اخطر مشكلة بيئية تسببها الاسمدة الكيميائية هو كونها مصدرا للمغذيات الكيميائية كالفسفات والنترات، ورغم أنها عناصر مغذية ضرورية لنمو الكائنات الحية، كما ذكرنا سابقا إلا أنها تعتبر ملوثات عند بلوغها مستويات عالية، وبالتالي فقد تسبب نموا كثيفا للطحالب في الأنهار أو الخزانات مؤدية إلى ظهور ظاهرة الاثراء الغذائي Eutrophisation، وهي الشيخوخة المبكرة التي تصيب النظام المائي، مما يؤدي إلى تغير في طبيعة المياه (الطعم والرائحة واللون) ونوعيتها من حيث يتم تكوين نموات طحلبية فوق أسطح المياه مع انبعاث الروائح الكريهة، ومن المعروف أن صرف مياه المجاري في الأنهار والبحيرات يزيد من هذه المشكلة لأن المخلفات تعمل كسماد جيد للطحالب تزيد نموها بسرجه هائلة.

الطحالب ومشكلة الاثراء الغذائي:

الطحالب كائنات حية بسيطة تعيش في المحيطات والبحيرات والأنهار والبرك والتربة الرطبة. ويسمى الكائن الحي الواحد من هذا النوع باسم الطحلب. تضم الطحالب ما يقرب من 20 ألف نوعا، وهي من المنتجين المهمين للمادة العضوية والاكسجين، وبذلك فهي ذاتية التغذية، وذلك لاحتوائها على صبغة الكلوروفيل.

تعيش الطحالب بهيئة خلايا مفردة وتكون اجسام متعددة الخلايا من مختلف الاشكال يدعى الثالوس (Thallus) (خيوط او كرات او عناقيد متعددة الطبقات)، ويسمى جسم الطحلب بالثالوس وذلك لان أنسجة الطحلب غير متباينة نسبيا أي أن هذه الأنسجة لا تتمايز بقدر يكفي لتكوين جنود حقيقة أو سيقان أو أوراق.

يتغير تكوين مجتمع الطحالب بشكل معنوي على المستويين الكمي و النوعي اعتمادا على محتوى الماء من الاملاح المعدنية، وكذلك مواصفات المواد الملوثة الرئيسة.

معظم الطحالب تعيش في البيئة العذبة أو المالحة، كما يعيش البعض منها على الصخور معيشة تكافلية مع الفطريات مشكلين معا ما يعرف بالاشنات، وتتخذ الأنواع العديدة من الطحالب ألوانا شتى تتراوح بين الأخضر والأخضر المصفر والأخضر المزرقي والأحمر والأصفر والبرتقالي والأخضر الزيتوني والبني، وتتخذ الطحالب أشكالا متعددة منها الكروية أو الخيطية أو صفائح أو اشربة وكذلك أنواعا تأخذ أشكالا متفرعة.

تتفاوت الطحالب كثيرا في أحجامها فالكثير من أنواعها أحادي الخلية توجد عائمة أو طافية وهي مجهرية الحجم، بينما يبلغ طول اكبر أنواع الطحالب حوالي 60 مترا وهو من الطحالب البنية، ان من اهم مجموعات الطحالب هو

ما يعرف بمجموعة الطحالب الخضراء، وهناك ما يقارب 7000 نوع من الطحالب التي تنتمي إلى هذه المجموعة، وتعيش هذه الطحالب في المياه المالحة، والمياه العذبة وفي التربة الرطبة، كما أنها يمكن أن تعيش على جذوع الأشجار الرطبة، وتحتوي هذه المجموعة من الطحالب على كل من الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب ويتجمع النشا الذي هو الناتج النهائي لعملية البناء الضوئي في البلاستيدات الخضراء في مراكز تكوين النشا (بيرنويد)، كما أن لها جدارا خلويًا يحتوي على مادة السيليلوز، والطحالب الخضراء ليس جميعها خضراء اللون، ولكن يمكن أن تأخذ اللون البرتقالي/ الأحمر أو لون الصدا حسب نوع أصباغ الكاروتين الموجودة فيها.

يختلف تركيب وشكل الطحالب الخضراء فهي إما أن تكون عبارة عن خلية واحدة مثل طحلب الكلاميديوموناس أو مركبة من تجمع عدة خلايا، وتأخذ شكل مستعمرة كروية مثل طحلب باندروينا أو كرة مجوفة مكونة من عدد كبير من الخلايا مثل طحلب الفولفكس، أو قد يكون الطحلب على شكل خيطي مثل السبيروجيرا، أو على هيئة شريط يأخذ شكل ورقة مثل طحلب خس البحر، تشترك الطحالب الخضراء مع غيرها من الطحالب في كونها بادية السلسلة الغذائية في البيئة المائية وتعتبر مصدرا أساسيا لغذاء الأسماك والحيوانات البحرية، وتضيف الطحالب الأوكسجين إلى الماء وهو ضروري لتنفس الأسماك ونشاط البكتيريا الهوائية التي تعمل على تحليل المواد العضوية.

أما المجموعة الأكثر خطورة في تكوين ظاهرة الاثراء الغذائي فهي مجموعة الطحالب الخضراء - المزرق، حيث تستطيع بعض أنواع الطحالب الخضراء، المزرق أن تشكل منزلقات أو أغلفة داكنة على الصخور بطول شواطئ الأنهار والبحيرات والمحيطات، وتوجد أنواع أخرى من هذه الطحالب في التربة، مشكلة طبقة رقيقة على أرض رطبة، وتبدو البحيرات التي تتشكل فيها الطحالب الخضراء، المزرق بأعداد كبيرة مخضرة أو خضراء مائلة إلى الزرق، وبإمكان أنواع قليلة من الطحالب الخضراء، المزرق أن تسمم السمك أو الماشية أو حيوانات أخرى تشرب الماء الذي يحتوي على هذه الكائنات، ويمكن رؤية معظم الطحالب المزرق

بالمجهر فقط، ويلاحظ أن لبعض الأنواع خلية واحدة فقط، وأن الخلايا تشكل في الأنواع الأخرى خيوطاً، وتفتقر خلايا الطحالب الخضراء، المزرقّة إلى نواة واضحة؛ وبالإضافة إلى اليخضور تحتوي الخلايا على خضاب أزرق أو أحمر (مادة ملونة)، وتجعل مجموعة الخضاب بعض الطحالب تظهر متوردة أو ضاربة إلى السمرة أو سوداء، وتستطيع بعض الأنواع من الطحالب أن تأخذ النيتروجين من الهواء وتحوله إلى مركبات تسمى النترات، وهكذا، فإنها تساعد في تخصيب التربة أو المياه، ومعظم الطحالب الخضراء، المزرقّة تتكاثر بالانشطار الخلوي فقط.

تأثيرات ظاهرة الاثراء الغذائي:

يتطلب النمو الطحلي العديد من المواد المختلفة كثنائي اوكسيد الكاربون و نيتروجين وفوسفور وحديد ومنغنيز ويورون وكوبالت وفيتامينات وغيرها، ويفترض ان ازالة أي من المغذيات الأساسية سيمنع النمو الطحلي، غير ان هناك جدل علمي حاد حول أي من المغذيات يجب السيطرة عليه، هناك شعور عام بان السيطرة على النتروجين والفسفور هي الأفضل، غير ان بعض العلماء يعتقد بان توفر الكاربون هو عامل محدد اكثر اهمية بكثير، ان الجواب الاكثر احتمالاً هو ان الفسفور يشكل عنصراً محدداً في بعض الاجسام المائية وليس في اخرى حيث توجد تراكيز كبيرة منه، ان وصول كميات معينة من الاملاح المغذية مثل الفوسفات والنترات التي تمر عادة عبر المرشحات في منشآت معالجة المياه في طريقها الى النهر، تساعد كثيراً على زيادة ظاهرة الاثراء الغذائي، ولحسن المصادفات تعتبر النترات من الاملاح القليلة الضرر للاشخاص البالغين اللذين يتعرضون لها بينما يكون مؤذي للاطفال التي تحتوي امعائهم كائنات مجهرية مختلفة، حيث تقوم هذه الكائنات بتحويل النترات الى نترتير والثانية هي المادة السامة للانسان حيث تتحد مع هيمكلويين الدم لتكوين ميثيموكلوين، وهي حالة تمنع حمل غاز الاوكسجين من الرئتين الى باقي انحاء الجسم، تعتبر الاملاح الذائبة في الماء ضرورية لنمو النباتات المائية بتركيزها الاعتيادية ولكن متى ما زاد تركيزها ظهر تأثيرها البايولوجي في هذه النباتات. تؤثر زيادة الاملاح المنتشرة في النباتات النامية بالانهار

ذات المياه الجارية كثيرا ولكن قد يظهر تأثيرها البيولوجي الاعلى في حالة حصر ماء النهر او حجزه في مستودع ما او عندما يصب النهر في مياه البحيرة، تعد الطحالب وخاصة الطحالب انخضراء المزرقة مؤثر جيد في ظهور او اختفاء الاملاح اذ تؤثر زيادة او نقصان الاملاح على نقصان وزيادة الكثافة السكانية لهذه الاحياء، وعليه في حالة الزيادة المضطردة للاملاح معناه ازدهار عدد كبير من انواع هذه الاحياء وزيادة حساسيتها .

ان وجود بعض الاحياء الوحيدة الخلية مؤثر على التلوث ايضا فهذه الاحياء تطفو على سطح الماء وذلك بتغطيتها كامل سطح الماء بطبقة كثيفة من هذه الاحياء، وهذه تسبب عدم وصول الضوء الكافي الى الاعماق، كما يؤدي موت هذه الطحالب الى استهلاك الاوكسجين في الاعماق، فضلا عن تخريب البحيرات المستخدمة كمستجمعات سياحية.

كما وأن الطحالب تحدث اضرارا اقتصادية لاتلافها السفن اذ تساهم في تكوين ما يعرف باسم قلف المراكب، اذا تترسب هذه الطحالب بكثرة على جدران السفن (قد تصل الى عشرات الأطنان) مما يؤدي الى خفض سرعتها وزيادة استهلاكها من الوقود، ولذلك تطلّى هياكل السفن بتنوعين من الطلاء تحتوي على مركبات النحاس والزئبق يعمل الأول على وقايتها من التآكل ويعمل الثاني على وقايتها من تواجد النحاس.

4. النفط مصدرا للتلوث؛

قد يحدث تلوث الماء من تسرب النفط الى المسطحات المائية، إما بطريقة غير مباشرة كما هو الحال في تفجير آبار النفط البحرية، او بطريقة مباشرة، كما يحدث عندما تُلقي الناقلات البحرية المياه المستعملة في قسيل خزاناتها في البحار مما يؤدي الى تأثيرات بيئية عديدة.

يعد النفط من أكثر الملوثات خطورة حيث يسبب ضرراً بيئياً للمحيط ومصبات الأنهر، وربما في مياه الأنهر المختلفة نفسها بسبب اصطدام ناقلات النفط وتسرب محتوياتها في مياه البحر، أو الخليج، وبصورة عامة يعتبر النفط الخام شيئاً غير مرغوب فيه عندما يخرج من باطن الأرض لينتشر على سطح مياه البحر بشكل يؤدي إلى تلوثها.

تعتبر كميات النفط التي تصل إلى مياه البحر والمحيطات من أكثر ملوثات المياه في العالم خطورة وتقدر كميات النفط التي تلوث المياه نتيجة لعمليات نقل النفط الخام وحدها بحوالي 2 مليون طن سنوياً، أما كمية النفط التي تلوث المياه نتيجة لاستخدامات الإنسان فتقدر بأكثر من عشرة ملايين طن سنوياً، هذا بالإضافة إلى كميات أخرى تطرح في مياه البحر نتيجة لعمليات التنقيب واستخراج النفط، والذي يزيد من احتمالات تلوث المياه بالنفط هو بعض الحوادث في ناقلات النفط، فقد وقع خلال الفترة من 1970 - 1990 حوادث عديدة لناقلات النفط، وانسكب ما قيمته 75% من النفط الذي كانت تحمله هذه الناقلات، وتشير بعض التقديرات إلى أن حجم النفط الذي انسكب في هذه الفترة بلغ بحدود ثلاثة ملايين طن. وكلنا يذكر حادثة غرق ناقلة النفط Exxon Valdez في مارس 1989 نتيجة اصطدامها بالصخور المرجانية أمام خليج برنس وليم بالأسكا - أمريكا عندما كانت تتفادى الارتطام بأحد جبال الجليد العائمة مما أدى إلى تسرب نحو 260000 ألف برميل نفط من هذه الناقلة، وانتشر هذا الزيت على مساحة تقدر بحوالي 1000 ميل مربع أمام شواطئ المنطقة والمنطقة المجاورة لها، ومن الحوادث المشهورة أيضاً ما حصل للناقلة توري كانيون التي اصطدمت بالصخور في العام 1967، وتسبب الحادث في تسرب نصف حمولتها البالغة 120000 طن، فضلاً عن تسرب كميات كبيرة من النفط الخام في بحر الشمال وأتابيب النفط المنتشرة في بعض الجزر التي تم التنقيب عن النفط فيها كما في الخليج العربي والبحر الأحمر وغيرهما، كما تعرضت محطة ميناء الأحمد في الكويت للتدمير في العام 1991 ونتج عن ذلك اندفاع البترول الخام

إلى مياه الخليج العربي بمعدل حوالي 2 مليون برميل/ يوم، وخلال 4 أيام تالية كانت مياه الخليج مغطاة بالبتروال الخام بطول 50 ميل وعرض 12 ميل وسمك 3 ملليمتر، ويقدر أيضاً بأن أكثر من 22000 طن من النفط قد تسربت في البحر المتوسط خلال الفترة ما بين 1987 و1996 بسبب حوادث الشحن، كما أسهمت الحروب الإقليمية أيضاً في تدهور موارد البحار والمناطق الساحلية فقد تسببت الحرب العراقية الإيرانية في تدفق 2 - 4 مليون برميل من النفط إلى البحر، وتدفقت 6 - 8 مليون برميل من النفط في منطقة رومي البحرية خلال حرب الخليج الثانية، ولقد وجد أن البنزوثيروفين وبعض مستبدلاته الميثيلية (Benothiophens and some of Its methyl substituted) وهي مركبات كيميائية ثابتة تظهر في مياه البحار والمحيطات نتيجة تلوثها بالنفط، كما وجدت هذه المركبات في الأحياء المائية الموجودة في هذه المياه الملوثة بزيوت البترول الخام، لقد أصبحت حقيقة علمية ثابتة أن المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) هي إحدى النواتج الموجودة في الغازات المنبعثة من أحترق منتجات النفط التي تستخدم كوقود مثل البنزين والكبروسين في آلات الاحتراق الداخلي مثل السيارات وغيرها، وكذلك من أحترق الديزل في المصانع ومحطات التدفئة وتوليد الكهرباء، ويساهم هذا المصدر بشكل كبير في تلوث الهواء حيث تتجمع هذه المركبات فوق الحبيبات الموجودة بالهواء وتسقط بما عليها من ملوثات إلى المياه السطحية فتلوثها وتلوث رواسب قاع تلك المياه.

إضافة إلى ما تقدم هناك ملايين الأطنان من فضلات النفط ربما تطفو على سطح المحيطات المختلفة على شكل بقع زيتية لا تؤدي هذه البقع لأضرار ملموسة، ولكن يحدث الضرر الملموس عندما ترمي بها الأمواج على الساحل أو المواقع التي تعتاش على اصطياد أسماك البحر حيث بات معروفا تأثيرها في مختلف الأحياء المائية والتي يمكن الإشارة إلى بعضها بالتالي:

1. تأثيرات التلوث بالنفط على الهائمات النباتية والطحالب الأخرى:

تعتبر الهائمات النباتية المسئول الأول عن تثبيت الطاقة في البيئة البحرية (بوساطة عملية التركيب الضوئي). وهذه الهائمات تتغذى عليها الحيوانات البحرية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، وقد أظهرت الدراسات الحديثة قياس تراكيز النفط الخام اللازمة لحدوث حالات الموت في الهائمات، ووجد أن التركيز الذي يؤدي إلى الموت يتراوح بين $0.0001 - 1$ مليلتر/لتر، أما تأثير التلوث النفطي فهو أقل على الأحياء النباتية الأخرى بسبب قدرتها على استرجاع قابلية نموها بعد فترة من الزمن وإضافة فروع جديدة بالقرب من قواعد الضروع القديمة.

2. التأثير على الرخويات والقشريات:

تعاني الرخويات (كالمحار) من حالات نفوق هائلة عند حدوث حالات تسرب للنفط ووصوله إلى منطقة الساحل وخادث انسكاب زيت الديزل قرب شواطئ كاليفورنيا، والذي أدى إلى قتل أعداد هائلة من المحار خير دليل على ذلك، كما لوحظ من الدراسات أن تراكيز النفط المؤثرة جدا على عملية الإخصاب تراوحت بين واحد إلى ألف جزء بالمليون، ولوحظ أيضا انخفاض في قابلية وكفاءة هذه الأحياء البحرية على السباحة، ومن الأحياء الأخرى المعرضة لتأثير التلوث النفطي هي مجموعة القشريات (كالروبيان والسرطان)، وهي عموما ليست تحت التأثير المباشر للملوثات النفطية المتسربة كسابقتها (الحيوانات الرخوية والقشريات الثابتة غير المتحركة)، لأن هذه المجموعة لها القابلية على الحركة مما يجعلها أكثر قدرة على تحاشي التعرض للتراكيز العالية من النفط عدا صفارها وبيرقاتها وبيضها التي لا تستطيع الفرار مما يؤدي إلى حالات نفوق كبيرة.

3. التأثير على الأحياء البحرية الأخرى والطيور:

تعتبر شوكلات الجلد وخيار البحر من أكثر الأحياء حساسية وتأثرا بالنفط المتسرب إلى البحار، إذ لوحظ اختفاؤها أو انقراضها من بيئات تعرضت

لحوادث التلوث النفطي. وفي المنطقة البحرية للخليج حدثت حالات كثيرة جداً من النفوق في الأحياء البحرية أثناء فترة تشكيل بقعة زيت نوروز وبقعة النفط من الكويت، وبصورة خاصة الحيوانات الفقرية التي تتنفس كالأفاعي والسلاحف والدلافين، وقد وجد أن الكثير منها يصعد إلى الشاطئ ليموت هناك بعد إصابتها بضيق في التنفس وبالتهابات جلدية ونزف داخلي.

إضافة إلى ما تقدم تعتبر الطيور من أكثر المجاميع البحرية تأثراً بالتلوث النفطي، إذ لوحظ انقراض أنواع عديدة منها من البيئة التي تتعرض طويلاً لأخطار التلوث، وخير مثال ما حصل على الشواطئ السعودية نتيجة حرب 1991، حيث نفق العديد من الطيور نتيجة بقعة الزيت التي امتدت على تلك السواحل، كما وتكون مواطن الطيور وأعشاشها في الجزر المتناثرة (مثال جزيرة كبر في الكويت) والتي يغلف النفط شواطئها لفترات طويلة أكثر تضرراً من غيرها، ويهدد ترسب النفط إلى قعر البحر قد يؤدي إلى تضرر بعض الحيوانات السابحة في قعر البحر والحيوانات القاعية.

تقوم البكتريا بتحليل كميات من النفط وتستعيد الصخور طبيعتها بعد عام تقريباً، كما ابتكرت بعض الشركات منظمات مميّنة تم استخدامها في تشتيت النفط ولكن صارت هذه المنظمات عبئاً كبيراً على البيئة إذ أنها تسبب تلوث البحر أكثر من النفط أحياناً لكونها سامة للعديد من الإحياء المائية، كما أن هنالك طرق ميكانيكية لإزالة النفط وذلك بإحاطة النفط بنوع من الحواجز الميكانيكية إلى أن يتم إزالتها، أو جمع النفط بطرق ميكانيكية كالضخ الماص أو الامتصاص بالقش ولكن هذه الطرق عادة تكون بطيئة ومكلفة.

الفصل الرابع

الأحياء المجهرية في

البيئة المائية

النظام البيئي المائي:

يمثل اي جسم مائي نظاما بيئيا معقدا، فالطاقة تدخل هذا النظام بصورة كبيرة على هيئة ضوء الذي يتحول الى طاقة كيميائية بواسطة احياء البناء الضوئي سواء الطحالب عند الظروف الهوائية او البكتيريا عند الظروف اللاهوائية، وتدعى هذه الاحياء بالمنتجات الاوليون (Primary producers)، وهي الاحياء التي تستغل ثنائي اوكسيد الكاربون كمصدر للكربون و تحوله الى مواد عضوية، يشكل المنتجون الاوليون الخطوة الاولى في السلسلة الغذائية وبذلك يوفرّون الغذاء للابتدائيات واللافقرات الصغيرة التي بدورها تكون غذاءً للأسماك، وبما ان النظام البيئي المائي (من محيطات وبحيرات وانهار وجداول وغيرها من الاجسام المائية الاخرى) يغطي حوالي ثلثي سطح الارض لذا فإن البيئات المائية تشكل المصدر الاعظم للمنتجين الاوليين.

مياه الشرب مصدرا للتلوث:

يعد توفير احتياطي ماء شرب امن احدي انجازات القرن العشرين في مجال الصحة العامة، فاستخدام الكلور في التعقيم على وجه الخصوص ساهم بشكل فاعل في خفض التعرض للممرضات المنتقلة عن طريق المياه وبالتالي الامراض الناجمة عنها.

في سبعينيات القرن الماضي اتجهت الجهود الى معالجة التلوث الكيميائي للمياه خصوصا بعد حادثة اضطرام النيران في نهر كويهاوجا في الولايات المتحدة الامريكية نتيجة لالقاء الفضلات الكيميائية فيه، ولكن بعد اندلاع وباء Cryptosporidiosis في مياه الشرب في العام 1993 الذي اصاب اربعمائة الف مواطن و اودى بحياة اكثر من مئة منهم اعاد الانتباه الى التلوث المايكروبي للمياه وهو الشكل الاوسع انتشارا والاكثر خطورة على الصحة العامة.

الاحياء المجهرية في البيئة المائية:

تحتل الاحياء المجهرية البيئة المائية بكل انواعها فقد تكون معلقة في المياه العذبة او مياه البحر (هائمات) أي تطفو بحرية، وليس لها القشرة على مقاومة حركة و جريان الماء، او في المياه الجوفية او على النباتات (Periphyton)، او تعيش في الترسبات القاعية (Benthos).

1. الاحياء المجهرية في المياه العذبة:

تتراوح درجة حرارة النظام البيئي للمياه العذبة بين درجة الانجماد (صفر مئوي) تقريبا الى ما يقرب من درجة الغليان (مئة مئوي) عند الظروف الجوية السطحية، تزداد درجة الحرارة درجة مئوية واحدة كل 30 سنتيمتر تحت سطح الارض، اما الينابيع الساخنة فتتكون عندما تمر المياه الجوفية خلال الطبقات العميقة لقشرة الارض.

تحتوي المياه الجوفية على مغذيات (Nutrients) ذائبة قليلة و غازات ذائبة، لذلك فانها تستوطن بفلورا مايكروبية متفرقة و قليلة قد تصل الى عشرة خلايا لكل مليلتر متمثلة بعدد قليل من الانواع، وربما تكون مشابهة لاهياء التربة المجهرية رمية التغذية التي تكيفت للمعيشة في هذه الظروف القليلة المغذيات، وبصورة عامة فان الانواع المايكروبية الموجودة في المياه العذبة تعود الى الاجناس الاتية: Micrococcus و Flavobacterium و Chromobacterium و Bacillus و Proteus و Pseudomonas و Leptospira وغيرها، فضلا عن الهائمات الحيوانية وهي عبارة عن حيوانات مائية صغيرة الحجم تكون هائمة في المياه، وهناك ثلاثة مجاميع تصنيفية تتواجد في المياه العذبة وهي الروتيفيرا و متفرعة الارجل (Branchiopods) و copepods معظمها عبارة عن مرشحات (تركز الجسيمات المعلقة) او مفترسات، كما انها تفتقر الى النباتات والحيوانات الراقية.

يتألف الجسم المائي مثل مستنقع او بحيرة من طبقات او مناطق كل منطقة تمتلك النبيت الطبيعي الخاص بها الذي يتحدد بوفرة هذه العوامل، وهي كالآتي:

1. المنطقة الساحلية (Littoral) هي المنطقة التي تقع بالقرب من اليابسة حيث المياه ضحلة الى درجة ان الضوء يخترق الى العمق وتكون غنية بالمادة العضوية.
2. طبقة قبل القاع (Profundal) تحتل المياه الاعمق حيث الشمس غير قادرة على الاختراق و لذلك فان عمليات البناء الضوئي تتوقف.
3. طبقة القاع (Benthic) التي تؤلف الراسب من الطين والمادة العضوية في قاع المستنقع او البحيرة.

تختلف المجتمعات المايكروبية كما و نوعا بشكل ملحوظ تبعاً لاختلاف الطبقات اعلاه، فالمنطقة الساحلية تحتوي على انواع مختلفة من البكتريا و الطحالب و بالتالي تحتوي على مغذيات اكثر قادمة من البر، و من هذه احياء الجسم المائي الاصلية (Allochthonous) او الدخيلة (Autochthonous)، فضلا عن ان هذه المغذيات تميل الى التجمع على الصخور و السطوح الصلبة التي تستهلك بسهولة بواسطة الاحياء المتواجدة هناك.

2. الاحياء المجهرية في مياه البحر:

كلما تقدم الماء في مجراه الى المحيط اصبح غنيا بالاملاح الذائبة بصورة متزايدة، فماء البحر يحتوي على ما مقداره 3.5 % من الاملاح مقارنة مع المياه العذبة التي تحتوي على ما يقرب من 0.05 %.

بسبب التركيز الملحي العالي وندرة الفوسفات والنترات في مياه البحار تختلف البكتريا المتوافرة في هذه البيئات عن تلك المتوافرة في بيئات المياه العذبة، كما ان المحتوى المايكروبي لها اقل بكثير من المحتوى المايكروبي للمياه العذبة، ومع

ذلك فهناك مجموعة من الاحياء المجهرية تزدهر في هذه المياه تدعى الاحياء المجهرية المحبة للملوحة (Halophilic microorganisms) وهي الاحياء التي تفضل التركيز الملحي العالي، في العقد الاخير كشف عن وجود البكتيريا فائقة الصغر (Ultramicrobacteria) في الانظمة البيئية البحرية في المناطق ذات الكثافة العالية نسبيا، وتؤلف هذه البكتيريا حوالي عشر حجم البكتيريا "الاعتيادية" كما يمكنها العبور من المرشحات الدقيقة ذات اقطار 0.22 مايكرومتر ربما تمثل هذه الحالة استجابةً لانخفاض مستوى المغذيات والظروف البيئة المتطرفة.

من مواصفات البيئات البحرية هو تباير العمق الذي يمكن ان يخترقه الضوء ولكنه يكون مقتصرًا على المئة المتر الاولى، في حين يسود الظلام في الاعماق الاكثر من ذلك، وبالرغم من غياب البناء الضوئي فان الاوكسجين مايزال متوافرا وهذا بسبب المستويات المنخفضة من المغذيات المعدنية في مياه البحر التي تحدد كمية الانتاج الاولى (Primary production) ولذلك الفعالية تكون مختلفة التغذية، ولكن مع ذلك فانه في الاعماق المتطرفة الظروف اللااوكسجينية هي السائدة.

بالمقارنة مع بيئة المياه العذبة تظهر الانظمة البيئية البحرية تبايرا اقل في الحرارة والرقم الهيدروجيني على الرغم من وجود استثناءات لهذه القاعدة العامة، هناك مشكلة تتعلق ببيئة المياه البحرية اكثر من غيرها من البيئات وهي الضغط الهيدروستاتيكي الذي يتزايد باضطراب في المياه الاعمق، عند 1000 متر يصل الى حوالي 100 مرة اكثر من الضغط الجوي، تدعى الاحياء المجهرية المتواجدة في هكذا اعماق بالمحبة للضغط الهيدروستاتيكي (Barophilic microorganisms) والتي لا تتواجد فقط عند الضغط الهيدروستاتيكي العالي فقط بل عند الدرجات الحرارية المنخفضة جدا، اذ يرافق ازدياد الضغط الهيدروستاتيكي انخفاضًا في تركيز المغذيات، فضلا عن ان درجة الحرارة تنخفض بازدياد العمق وصولا الى 2 درجة مئوية باستثناء المناطق المحيطة بالفتحات الساخنة (Hot vents) وبناءً على ذلك فمياه البحار والمحيطات توفر بيئة متطرفة للاحياء المحبة للتطرف (Extremophiles).

لا يمكن لمعظم البكتيريا المتواجدة في المياه العذبة أو في التربة ان تعيش عندما يزيد الضغط الهيدروستاتيكي عن 200 جو.

مقارنة مع الانظمة البيئية في اليابسة حيث النباتات هي المسؤولة عن معظم الطاقة المثبتة بوساطة البناء الضوئي فالانتاج الاولي في الانظمة البحرية يكون في الغالب مايكروبييا متمثلا بافراد الهائمات النباتية (مصطلح شامل يصف الكائنات احادية الخلية التي تقوم بالبناء الضوئي)، وهي عبارة من مجتمعات متنوعة من ناحية التصنيف باحجام اصغر من 50 مايكرومتر وتكون بصورة رئيسة من الطحالب والسيانوبكتيريا وثنائية الاسواط (Dinoflagellates) والدايتومات، وتكون مقتصرة التواجد في المناطق التي يتوافر فيها الضوء ويكون قادرا على الاختراق؛ الدايتومات هي الهائمات النباتية السائدة في البحر في حين تسود الكريتوفاييتومات و الطحالب الخضراء في المياه العذبة.

كما تتواجد الابتدائيات التي تشكل المستهلكات الرئيسية للبكتيريا و الهائمات الحيوانية في مناطق المياه المفتوحة مثل السوطيات (Flagellates) و الهديبات (Ciliates)، والاخيرة تتغذى على السوطيات و الطحالب و الهديبات الصغيرة.

كما تتواجد في مياه البحر انواع من الهائمات الحيوانية تشمل copepods و ctenophores و urochordata والديدان السهمية (Arrow-worms) فضلا عن تواجد بعض انواع الحلزون.

• العمليات المايكروبية في رواسب القاع:

تستوطن البكتيريا المحللة اللاهوائية المنطقة القاعية وتقوم بالعمليات ذاتها التي تقوم بها في رواسب المياه العذبة فهناك العديد من العمليات المعقدة والمهمة جدا في ذات الوقت سواء كانت كيميائية او فيزيائية او حياتية تجري بين الماء

ورواسب القاع، كما ان كمية ونوعية الاحياء المجهرية والعمليات الكيموحياتية لها تأثير كبير في مستويات الماء من النتروجين و الفوسفور ومركبات الكبريت.

في رواسب القاع التحلل الهوائي للمكونات العضوية يحصل في الطبقات العليا (عدة ملمترات) وهي مصدر للأملاح المعدنية الذاتية، بينما التكسير الحياتي الذي يحدث في الاسفل يتسبب في اطلاق مواد تعد سامة للموطن المائي مثل كبريتيد الهيدروجين والميثان.

تلعب رواسب القاع دورا مهما للغاية في المياه المغلقة حيث المواد العضوية المعلقة تهوي الى الاسفل نتيجة لعدم حركة المياه والتي لها تأثير كبير في تحول النتروجين و الفوسفور ومركبات الكبريت والتي بدورها تؤثر في نوعية المياه، من اهم العوامل التي تنظم سرعة انتقال النتروجين و الفوسفور (و كذلك الحديد و المغنيسيوم) من الرواسب الى المياه هو محتوى الماء من الاوكسجين المذاب في الطبقات القريبة من القاع. يبدأ الانتشار الفعال (Active diffusion) للفوسفات في المياه عندما تنخفض معدلات الاوكسجين المذاب الى اقل من واحد ملغرام لكل 100 سنتيمتر مكعب من الماء فضلا عن تأثير الحرارة ومعدل تحلل المواد العضوية وحامضية الماء وفعالية الاكسدة والاختزال.

تتواجد الاحياء المجهرية الآتية بصورة شائعة في رواسب قاع المياه السطحية:

- البكتريا المحللة للسليولوز مثل الانواع العائدة للجنس Sporocytophaga و Cytophaga و Pseudomonas و Achromobacter، وكذلك اللاهوائية مثل الجنس Clostridium.
- عند غياب الاوكسجين، ينمو العديد من بكتريا التعفن (Putrefying bacteria) (انتاج كبريتيد الهيدروجين من البروتينات) و البكتريا المختزلة للكبريتات و بكتريا الدنترة و البكتريا المولدة للميثان و بكتريا الهيدروجين.

- قد تتواجد البكتريا المؤكسدة للامونيا في رواسب القاع باعداد قليلة في الطبقات العليا من الرواسب كونها بكتريا هوائية إجباراً.
- يرتبط توافر البكتريا الهوائية المؤكسدة للميثان في رواسب القاع بتركيز الاوكسجين والحديد.

لاحظ العديد من الباحثين والدارسين لبكتريا البحار الدور المحتمل للبكتريا المتواجدة في رواسب القاع في تكوين النفط بسبب امتلاكها انظمة انزيمية فعالة تمكنها من تكسير واستهلاك المواد العضوية المختلفة و تحول قسم معين منها الى نفط.

• العوامل المؤثرة في نمو الاحياء المجهرية في المياه:

تتأثر اعداد وانواع الاحياء المجهرية في المياه بعدد كبير من العوامل الكيميائية والفيزيائية والتي تتفاعل مع بعضها البعض بطرق مختلفة داخل الانظمة البيئية، من الممكن تمييز مجموعتان من العوامل التي تمتلك تأثيراً مهماً في العلاقات النوعية والكمية بين الاحياء المجهرية وهي العوامل الحياتية (جميع كائنات المياه الحية مثل النباتات والحيوانات والاحياء المجهرية والعلاقات التي تحكمها)، والعوامل اللاحياتية المتمثلة بالضوء والطاقة الحرارية وتفاعلات الماء ومعدل جريان الماء والمناخ والمركبات الذائبة والعالقة في الماء (المادة العضوية الميتة والمادة اللاعضوية والغازات مثل الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون والميثان وغيرها).

العوامل اللاحياتية:

1. الطاقة الضوئية:

يلعب الضوء دوراً مهماً في عملية البناء الضوئي فكمية الضوء التي تخترق طبقات الماء تعتمد بشدة على موقع الشمس والشفافية و لون و عمق المياه. فكلما

كان زاوية سقوط الأشعة الشمسية اقل كلما قلت الخسارة في اشعة الشمس المنعكسة من المياه اعتمادا على التشميس (Insolation) و عكارة (Turbidity) المياه تخترق اشعة الشمس الضعالة حياثيا بعمق يتراوح من 10 الى 150 مترا، ويدون شك مياه البحر اكثر صفاءً و اقل تلوثا من مياه داخل اليابسة لذا فاشعة الشمس تخترقها بعمق يتراوح 150 متر الامر الذي يكون منطقة تسمى المنطقة الضوئية (Photic zone) حيث يحدث البناء الضوئي.

لا يكون توافر الافراد ذاتية التغذية (Photoautotrophs) متطابقا في المياه بسبب ظروف الضوء المختلفة، وغالبا ما يكون الدليل على كمية الاضاءة هو الحدود الدنيا لتواجد الطحالب فالتواجد الاكثر يحصل في العمق 0.5 الى 2 متر، معظم الطحالب تمتلك القدرة على تغيير وتكيف لونها حسب ظروف الضوء.

تمتلك الاشعة فوق البنفسجية والاشعة ذات الاطوال الموجية العالية تاثيرا سلبيا، مثلا، الضوء الازرق (366 – 436 نانوميتر) يثبط عملية اكسدة النترت بوساطة *Nitrobacter vinogradskyi*، كما ان للضوء تاثير في نمو الفطريات المائية، وعلى اية حال يكون تاثير الاشعة الزرقاء والخضراء اكثر من الاشعة الحمراء.

2. درجة الحرارة:

تعتمد كمية الطاقة الحرارية (كما في حالة طاقة الضوء) على زاوية سقوط اشعة الشمس (موقع الشمس بالنسبة الى سطح الماء) لذلك فان درجة الحرارة تتفاير مع الوقت في اليوم والفصل وخط العرض.

في المياه الجارية مثل الانهار تكون درجة الحرارة ثابتة في كل مقطع الماء نتيجة للخلط الثابت بوساطة جريان الماء، مع ان هكذا موطن مائي يتميز بتذبذب درجة الحرارة اليومية خصوصا في الانهار الضحلة.

اما في المياه الساكنة مثل البحيرات حيث التيارات المائية ضعيفة جدا او غير موجودة اصلا فالحرارة تتذبذب اثناء الدورة السنوية، تتميز البحيرات، و خصوصا العميقة منها، بالتطبق العمودي (Vertical stratification) والذي يعني تكوين طبقات تتفاير تبعا الى مكونات ودرجة حرارة تلك الطبقات.

للمياه الدافئة و المياه القريبة من السطح، والتي تكون معرضة للاضاءة (illuminated) كثافة اقل من نظيراتها الباردة و المظلمة، يمنع الفرق في الكثافة خلط الطبقات.

3. حركة المياه:

لخلط المياه اهمية قصوى لكل من توزيع الحرارة و توازن المحتوى الكيميائي (غازات و مغذيات و مواد تعادل الضغط الاوزموزي و حامضية الماء وغيرها).

4. الضغط:

يعد الضغط عاملا بيئيا مهما اذ يؤثر بقوة في حياة الاحياء المجهرية من بين اشياء عديدة اخرى عن طريق التأثير في فعالية النظام الانزيمي للخلايا.

5. حامضية الماء:

يتراوح الاس الهيدروجيني الامثل للبكتريا بين 6.5 الى 8.5 في حين يكون الاس الهيدروجيني لمعظم البحيرات 7 وللانهار 7.5 وللطبقات السطحية للبحار 8.2.

بسبب المحتوى العالي من الكربونات و مواصفاتها كداريء (Buffer) فان الاس الهيدروجيني للماء لا يتذبذب بصورة معنوية، و لكن عند المستويات العالية من التشميس و النمو السريع لاحياء البناء الضوئي قد يزداد الاس الهيدروجيني بشكل كبير.

من الممكن ملاحظة التغيرات العالية نسبيا في الاس الهيدروجيني في البحيرات الغنية بالمغذيات حيث تتراوح قيمه بين 7 الى 10 الامر الذي له تاثير واضح في المجاميع السكانية للبكتريا والفطريات.

6. الملوحة:

معظم الاحياء المجهرية التي تعيش في الانهار والبحيرات النظيفة (الخالية من التلوث) تكون محبة للملوحة وفي الظروف الطبيعية لا تعيش في المياه التي تتعدى نسبة الملوحة فيها 10%.

نتيجة للملوحة، تعد مياه البحر بيئة حياتية منفصلة و متميزة حيث تكون البكتريا والفطريات التي تعيش في البحار محبة للملوحة والتي تعتمد عملياتها الحياتية على تركيز معين من كلوريد الصوديوم، وهكذا معظم الاحياء المجهرية التي تعيش في هكذا مواطن لا تتمكن من العيش في اي مكان اخر.

الكتلة الاكبر من الاملاح (99%) متكونة من العناصر الاتية: الكلور و الصوديوم و الكبريت و المغنيسيوم و الكالسيوم و البوتاسيوم.

نسبة الملوحة المثالية للبكتريا والفطريات المحبة للملوحة تتراوح من 2.5 الى 4 ٪، وفي المحيطات بمعدل 3.2 الى 3.8 ٪ في ترتفع هذه النسب بكثير في البحار المغلقة والبحيرات المالحة.

الزيادة في نسبة الملوحة يؤثر في دورة حياة البكتريا والفطريات وكذلك في صفاتها المظهرية والفسلجية.

في البحيرات ذات التركيز الملحي العالي تحتوي على احياء قليلة التنوع اذ تكون الاحياء المجهرية الرئيسية ممثلة بالبكتريا والسيانوبكتريا والسوطيات.

7. المواد غير العضوية الاخرى:

تعتمد دورة حياة احياء الماء المجهرية على مواد غير عضوية اخرى مثل مركبات الفوسفور والنروجين التي تلعب دورا مهما في حياة تلك الاحياء، بجانب النروجين الحر، وتواجد في المياه السطحية الكثير من مركبات هذا العنصر مثل املاح النترات والنتريت و الامونيوم.

تستغل البكتريا مختلفة التغذية والطحالب النترات و املاح الامونيوم، وتتغير كمية النروجين التي من الممكن ان تحملها انواع الطحالب المختلفة مثلا الدايتومات (مثل *Asterionella*) تتمكن من التكاثر حتى عند التراكيز العالية من النترات قد تصل الى 100 مايكروغرام نايتروجين لكل لتر، في حين الحد الاعلى للطحلب *Pediastrum* فقط 2 مايكروغرام نايتروجين لكل لتر، و كذلك هو الحال بالنسبة للبكتريا كما ان المستويات العليا للتحمل تتغير بتغير الانواع.

ويبقى العنصر الاكثر تاثيرا في نمو الطحالب هو الفوسفور، على الرغم من ان محتوى الماء من الفوسفور يكاد يكون منخفضا ($0.01 - 0.1 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l}$). يتواجد الفوسفور العضوي في المياه باشكل مخفضة (Orthophosphates) و بهيئة املاح غير ذائبة مثل فوسفات الكالسيوم وفوسفات المغنيسيوم وغيرها، تخزن الطحالب الفوسفور في خلاياها بكميات تتعدى احتياجها، ويعد تأثير زيادة تركيز الفوسفور عن طريق ادخال الملوثات احد اسباب ظاهرة الازدهار المائي (Water blooming)، او الازراء الغدائي التي تكلمنا عنها بشئ من التفصيل في فصول سابقة.

في البحيرات و البحار الفقيرة بالمغذيات من الصعب ان يكشف عن وجود ايونات الامونيوم والنترات والنتريت والفوسفات اذ ان هذه الاملاح تستهلك من قبل الهائمات النباتية بعد تكوينها على الفور، يستمر النقص في مستويات مركبات

النتروجين و الفوسفور في المناطق الضوئية (Photic zones) للكثير من البحار الاستوائية طيلة ايام السنة في حين تعاني المناطق المعتدلة من تغيرات فصلية.

من ناحية اخرى يحدث تجميع النترات والفوسفات في المياه العميقة و البحيرات الكبيرة و البحار نتيجة لفعاليات الاحياء المجهرية مختلفة التغذية، تعد ايونات الامونيوم و النترات مصادر الطاقة لبكتريا النترية (Nitrification bacteria) في حين قد يستغل الاوكسجين المرتبط بالنترات من قبل عدد من انواع بكتريا الدنترة (Denitrifying bacteria) لأكسدة المركبات العضوية عند الظروف اللاهوائية.

من الاملاح الضرورية للحياة هي مركبات كل من الكبريت و المغنيسيوم و الكالسيوم و الحديد و السليكون التي تستهلك من الاحياء المجهرية لبناء هياكل خلاياها و لتنشيط انزيماتها.

8. الغازات:

في خزانات المياه قد تتواجد كميات صغيرة من الغازات المذابة الى جانب الاملاح و المواد العضوية، يمتلك الماء القدرة على تخفيف الغازات و لكن قابلية الذوبان تقل كلما زادت درجة الحرارة و الملوحة فتكون قليلة في مياه البحر مقارنة مع احواض المياه العذبة، تشمل هذه الغازات بصورة رئيسة الاوكسجين و ثنائي اوكسيد الكاربون و النتروجين.

المصدر الرئيس لهذه الغازات هو الغلاف الغازي حيث تنفذ الغازات منه الى الطبقات العليا من الماء وصولا الى حالة التشبع، فضلا عن الغازات المذابة في المياه والرواسب فهي قد تتكون نتيجة للعمليات الكيموحياتية، و بهذا الشكل يتحرر الاوكسجين من النباتات الخضراء نتيجة لعمليات البناء الضوئي و ثنائي اوكسيد الكاربون اثناء التنفس و النتروجين الحرائث اثناء عملية الدنترة

(Denitrification) و كبريتيد الهيدروجين نتيجة لاختزال الكبريت والهيدروكربونات بسبب عمليات التخمر.

يكون ذوبان الاوكسجين في الماء ضعيفا (9 mg/l) عند درجة حرارة 20 مئوية لذا فان وفرته في البيئة المائية تعد عاملا محددًا في تحديد المجتمع المايكروبي في الجسم المائي، وفرة الاوكسجين في البحيرات والبرك مرتبطة بقوة باوكسجين البناء الضوئي وكذلك وبصورة غير مباشرة مع اختراق الضوء، يكون تواجد الكائنات ذاتية التغذية مثل الطحالب محددًا بهذه المناطق حيث يكون الضوء قادرا على الاختراق.

يغيب الاوكسجين او يتوافر بتركيز محدودة جدا في القاع حيث الاحياء المجهرية اللاهوائية مثل البكتريا المولدة للميثان (Methagonic bacteria) تكون متواجدة.

9. المواد العضوية:

هناك عامل اخر يؤثر في المجتمع المايكروبي الا وهو المحتوى العضوي للمياه اذا كان كافيا فان نمو المحللات (Decomposers) يكون مشجعا الذي بدوره يستنفذ الاوكسجين، وهذه ليست بالمشكلة المهمة في الانهار والجداول حيث التهوية الفيزيائية للمياه تؤمن اكسجة (Oxygenation) مستمرة.

تأتي المواد العضوية اما عن طريق افرازها من قبل الخلايا الحية او كنواتج للتحلل الذاتي لهذه الخلايا، وعلى اية حال فان الكمية العظيمة من المركبات العضوية تدخل الى المياه من المجاري، تتواجد المركبات العضوية على شكل محاليل او معلقات (Suspensions)، ياديء ذي بدء تعد هذه المركبات غذاءً للبكتريا والفطريات مختلفة التغذية، الاحياء المجهرية المتواجدة على اسطح المعلقات وخاصة على دقائق فتات الصخور التي تمتاز المواد العضوية من الماء تسمتع بهذه الظروف المفضلة للتغذية.

يتاثر التوافر والتغيير الايضي للاحياء المجهرية بالمحتوى السهل والمتوفر من المركبات العضوية (مثل الكربوهيدرات والاحماض العضوية والبروتينات والدهون) اكثر من عموم كمية المواد العضوية، اذ ان نفاذها من الماء يحدث بسرعة كبيرة، عندما يحصل نقص في المواد العضوية فان البكتريا لا تصل الى احجامها الطبيعية كما ان معدلات انقسامها تنخفض كثيرا.

العوامل الحياتية:

تتولد الكثير من العلاقات المتبادلة بين افراد البيئة الحية (Biocenosis) ونتيجة لذلك فان الكائنات الحية اما ان يدعم احدها الاخر (تآزر Synergism) او ان يثبط احدها الاخر (تضاد Antagonism).

1. التنافس Competition،

الاحياء التي تجد وتتناول غذائها بكفاءة هي التي لها اليد الطولى في العيش، ففي اي موطن يبني يزداد عدد الاحياء المجهرية بسرعة اذا كان غنيا بالمغذيات، مع انه في كثير من الحالات يزداد الانتاج الوفير من نواتج الايض (المثبطات) من عدد المنافسين وفي بعض الاحيان يزيلهم نهائيا، تحصل هكذا اوضاع، مثلا، عندما يتغير الاس الهيدروجيني بجمل الوسط حامضيا وقاعديا وعندما تتحرر المضادات الحياتية.

2. التعاون Cooperation،

غالبا ما يلاحظ التعاون بين الكائنات عند التغذية والنمو فهو يسمح بظهور مزارع مايكروبية مختلطة، التكسير الحياتي (Biodegradation) عبارة عن عملية متعددة المراحل تحدث كمحصلة لعدة تفاعلات متعاقبة بوساطة احياء مجهرية متخصصة مختلفة، تمنع هذه العملية تجميع النواتج العرضية الايضية،

ونتيجة لهذا التعاون يصبح التكسير الحياتي لكثير من المركبات العضوية الثابتة (مثل اللكتين والسليولوز).

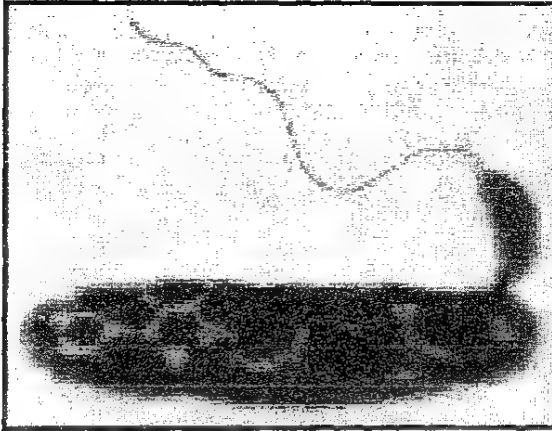
3. الافتراس Predation.

تعد البكتريا والفطريات غذاءً للحيوانات الدنيا (Lower animals) وهذا هو السبب في تغير اعدادها في مياه الخزانات، تتغذى معظم الابدائيات على البكتريا، وثبت ان كتلتها الحياتية تزداد بزيادة اعداد البكتريا، كما ان الكثير من الكائنات متعددة الخلايا (Multicellular) مثل الاسفنجيات تستهلك البكتريا كغذاء، في رواسب القاع الكثير من الحيوانات تتغذى على الفطريات، في حين تعد السيانونوبكتريا المتواجدة في القاع غالبا ما تؤكل من قبل turbellarians والديدان الخيطية (Nematodes) والقشريات (Crustaceans) ويرقات الحشرات والهائمات الحيوانية التي بدونها قد تحصل ظاهرة الاثرء الغذائي واطلاق العديد من المركبات السامة في المياه.

4. التطفل Parsitism.

تُهاجم الاحياء المجهرية في المياه وتُحطم من قبل الفايروسات والبكتريا والفطريات، فقد اثبت تواجد عاثيات البكتريا (Bacteriophages) في المياه داخل اليابسة ومياه البحر، وهي تكثر في مياه المجاري وربما تكون السبب في النفاد السريع في اعداد البكتريا في مياه الانهار والبحيرات والشواطئ الملوثة بمياه المجاري.

وهناك سبب اخر لقلّة اعداد البكتريا يعزى الى تواجد البكتريا المنحنية المتطفلة التابعة الى الجنس Bdellovibrio (شكل 1) تقوم بالتطفل على انواع بكتيرية اخرى وهي بكتريا سريعة الحركة بسوط قطبي واحد، سالبة للون غرام، عصوية منحنية قليلا، عرضها 0.25 مايكروميتر وطولها 1 مايكروميتر تقريبا، تتطفل على بكتيريا E.coli والبكتريا السالبة للون غرام الاخرى.



شكل (1): بكتريا Bdellovibrio تهاجم فريستها

وهذه البكتريا عندما تهاجم فريستها تضربها بشدة الى درجة ازاحتها مسافة قليلة و من ثم تلتصق بها وتدور بحركة لولبية، وفي الوقت نفسه تنتج انزيمات هاضمة تكسر الدهون وطبقة الببتيدوجلايكان وخلال عشرة دقائق تحدث ثقبا في جدار الخلية المضيفة مما يسمح لها باختراقها القرينة والولوج الى الفراغ المحيط بالبلازما (Periplasmic space) بين طبقة الببتيدوجلايكان والغشاء الساييتوبلازمي وبعد مضي عدة ساعات تبدأ بكتريا Bdellovibrio باستهلاك المحتويات الخلوية للمضيف، تحصل على الطاقة من الاكسدة الهوائية الاحماض الامينية والخلات (Acetate) ثم يزداد طولها ما دامت مستقرة في الفراغ المحيط بالبلازما وبالنهاية تنقسم الى عدة خلايا بنوية متحركة، وعندما تتحلل الخلية المضيفة تنطلق ذرية بكتريا Bdellovibrio لتبحث لها على فريسة اخرى.

• المجموعات الرئيسية للأحياء المجهرية في المياه:

ان الاحياء المجهرية الموجودة في الماء تعد الى مجموعات مختلفة، ويمكن ان

تدرج تحت المجاميع التالية:

اولا: البكتريا:

البكتريا كائنات بدائية النواة بسيطة التركيب وحيدة الخلية تتراوح اقطارها من 0.1 الى 15 مايكروميتر قد تكون عصوية او كروية او حلزونية، اغلب بكتريا المياه تكون نشطة و متحركة بوساطة اسواط (Flagella) مثل بكتريا Vibrio و بكتريا Pseudomonas او تسبح بحرية في الماء (الهائمات البكتيرية).

تنتشر هذه الكائنات في الطبيعة بشكل واسع فهي تتواجد في المياه و التربة و المواد العضوية و على الاجسام الحية للنباتات و الحيوانات، ولها مدى متنوع من المتطلبات التغذوية فهي قد تكون ذاتية او متطفلة او رمية التغذية.

معظم البكتريا غير ضار و هي تستوطن جسم الانسان و خصوصا الجهاز الهضمي، و تتكاثر لاجنسيا بالانشطار البسيط، و قد تتواجد على هيئة خلايا مفردة او سلاسل و عناقيد او خيوط، تتخذ بكتريا المياه اشكالا اخرى مختلفة كأن تكون نجمية او صفائحية او مغزلية.

بالاضافة الى شكل الخلايا البكتيرية و استجابتها الى ملون غرام تعد استجابتها الى الاوكسجين الجزيئي من اهم الصفات التصنيفية و التشخيصية لها، و هناك ثلاث مجاميع رئيسة من البكتريا حسب استجابتها للاوكسجين:

1. البكتريا الهوائية: لا تتمكن من العيش الا بوجود الاوكسجين الجزيئي.
2. البكتريا اللاهوائية: لا تستطيع ان تستغل الاوكسجين الحر في فعاليتها الخلوية، وهي على نوعين متحملة للاوكسجين يمكنها العيش بوجود الاوكسجين الجزيئي الحر ولكنها لا تستطيع ان تقوم بفعاليتها الحياتية بصورة كاملة و فاعلة، و اخرى غير متحملة للاوكسجين التي تموت بمجرد التعرض له.
3. البكتريا اللاهوائية اختيارا: هذه المجموعة يمكنها ان تؤدي وظائفها الخلوية بوجود او بغياب الاوكسجين و هي تفضل العيش بوجود الاوكسجين ولكنها تتمكن من استغلال المركبات الاخرى مثل النترات و الكبريتات و المواد العضوية لاداء فعاليتها المختلفة .

او من الممكن تقسيم بكتريا المياه الى:

- البكتريا المقيمة (Autochthonous): وهي البكتريا التي تتواجد باستمرار في الموطن المائي.
- البكتريا الدخيلة او الغريبة (Allochthonous): وهي البكتريا القادمة من بيئات اخرى مثل التربة او الهواء او تلك القادمة الى الاحواض من المجاري الصناعية والبلدية.

1. البكتريا المقيمة:

وتشمل البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (Photoautotroph) و كيميائية التغذية الذاتية (Chemoautotrophs) وكيميائية عضوية التغذية الذاتية (Chemoorganoautotrophs).

❖ بكتريا البناء الضوئي (Photoautotroph):

يجرى البناء الضوئي في البكتريا بشكل مختلف قليلا عن البناء الضوئي في النباتات، والجزء الاكثر اهمية انها عملية خالية من الاوكسجين (Anoxygenic) وتتطلب وجود مركبات معدنية مختزلة ولا يرافقها تحرير الاوكسجين بل تنتج مركبات عضوية او غير عضوية مؤكسدة، تصنف صبغات البكتريا التمثيلية حسب قدرتها على امتصاص الاشعة تحت الحمراء التي لا تمتص من قبل النباتات الخضراء.

يتم البناء الضوئي في المياه السطحية بشكل رئيس من قبل الطحالب و النباتات، بينما يكون دور البناء الضوئي البكتيري اقل اهمية.

من بين الافراد ذاتية التغذية التي لها القدرة على القيام بالبناء الضوئي، البكتريا الارجوانية (Purple bacteria) والخضراء (Green bacteria) واخرى غيرها:

اولا، البكتريا الارجوانية،

بكتريا سالبة للون غرام تظهر حمراء او برتقالية او ارجوانية نتيجة للصبغات المقتنصة للضوء، بخلاف بقية ضوئية التغذية اللااوكسجينية يكون جهاز التركيب الضوئي بالكامل موجودا داخل الخلية، الانبعاثات في الغشاء السائتويلازمي تزيد بشكل فاعل من المساحة السطحية المعرضة للبناء الضوئي.

تقسم هذه المجموعة الى قسمين بكتريا الكبريت الارجوانية (Purple sulfur bacteria) والبكتريا الارجوانية غير الكبريتية (Purple nonsulfur bacteria).

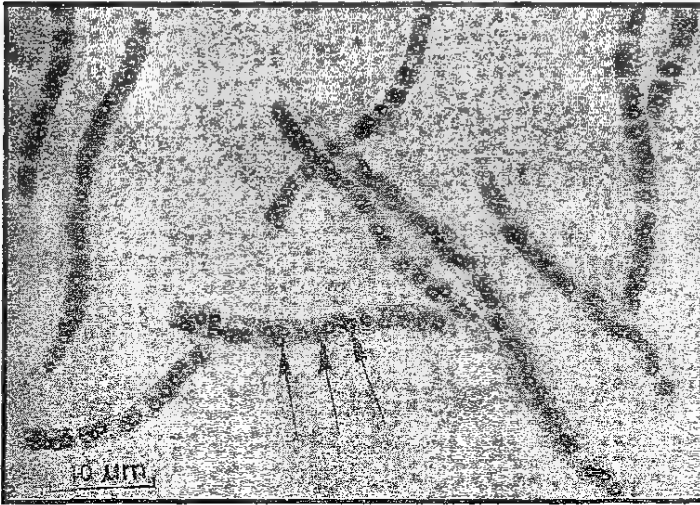
1. بكتريا الكبريت الارجوانية،

(Chromatiaceae and Ectothiorhodaceae)

تنمو هذه المجموعة احيانا على شكل كتل ملونة في البيئات الغنية بالكبريت مثل الينابيع الكبريتية، خلاياها كبيرة الحجم نسبيا احيانا يتجاوز قطرها 5 مايكروميتر، البعض منها يتحرك بالاسواط وقد تحتوي على حويصلات غازية (Gas vesicles) تمكنها من الصعود والنزول الى المستوى الذي تفضله في عمود الماء. معظمها يجمع الكبريت في حبيبات مرئية مجهريا (انظر شكل 2).

تستخدم بكتريا الكبريت الارجوانية كبريتيد الهيدروجين لانتاج طاقة الاختزال، على الرغم من بعض انواعها يستهلك الجزيئات اللاعضوية مثل الهيدروجين و المركبات العضوية مثل البايروفيت (Pyruvate)، اغلب الانواع لاهوائية اجبارا ضوئية التغذية و لكن بعض الانواع تتمكن من النمو بغياب الضوء

هوائيا مؤكسدة المركبات العضوية أو اللاعضوية المختزلة كمصادر للطاقة. ومن الأجناس المثلة لهذه المجموعة هي و Chromatium و Thiospirillum و Thiodictyon.



شكل (2): بكتريا الكبريت الأرجوانية *Thiospirillum jenense* يلاحظ حبيبات الكبريت داخل الخلايا (الاسهم)

2. البكتريا الأرجوانية غير الكبريتية (Rhodospirillaceae)،

تنتشر في مدى واسع من البيئات المائية بضمنها الترب الرطبة و مستنقعات حقول الرز، هناك صفة مهمة واحدة تميزها عن بكتريا الكبريت الأرجوانية وهي انها تفضل استهلاك مجموعة متنوعة من الجزيئات العضوية غير كبريتيد الهيدروجين كمصدر للإلكترونات لغرض الاختزال فضلا عن فقدانها لحويصلات الغاز، وإذا تجمع الكبريت فإنه يتجمع خارج الخلايا.

هذه المجموعة متنوعة الايض بشكل ملحوظ ليس فقط نموها كضوئية التغذية مستهلكة المواد العضوية للاختزال، ولكن قسم كبير منها يستطيع استخدام ايض عشابه لايض بكتريا الكبريت الارجوانية موظفة غاز الهيدروجين او كبريتيد الهيدروجين كمصادر للطاقة، فضلا عن انها تنمو هوائيا بغياب الضوء مستخدمة الايض كيميائي التغذية، الاجناس المثلة لها تتضمن Rhodobacter و Rhodospseudomonas.

ثانياً: البكتريا الخضراء:

بكتريا سائبة للون غرام ذات لون اخضر او بني بخلاف البكتريا الارجوانية فان صبغاتها الجامعة للضوء تقع في تراكيب تسمى الاجسام الخضراء (Chlorosomes) ولا يحتوي غشاؤها الساييتويلازمي على انبعاثات شديدة. و هي على نوعين بكتريا الكبريت الخضراء (Green sulfur bacteria) والبكتريا الخضراء غير الكبريتية (Green nonsulfur bacteria).

1. بكتريا الكبريت الخضراء (Chlorobiaceae):

بكتريا لاهوائية اجبارا لا تستطيع استخدام الايض كيميائي التغذية، تتواجد في الاماكن ذاتها التي تفضلها بكتريا الكبريت الارجوانية، وهي ايضا تستخدم كبريتيد الهيدروجين كمصدر للالكترونات لغرض الاختزال و تكون حبيبات الكبريت خارج الخلية، هذه المجموعة فاقدة للاسواط ولكن الكثير منها يحتوي على حويصلات غازية، تتمثل بالاجناس Chlorobium و Pelodictyon.

2. البكتريا الخضراء غير الكبريتية (Chloroflexaceae):

تتميز هذه البكتريا بشكلها الخيطي تستغل المركبات العضوية لتوليد الطاقة او قد تستخدم غاز الهيدروجين او كبريتيد الهيدروجين كبديل فضلا عن انها تستطيع النمو في الظلام هوائيا مستخدمة الايض كيميائي التغذية

(Chemotrophic metabolism)، الجنس الوحيد الذي تم تسميته في المختبر في مزارع نقية هو Chloroflexus.

ثالثاً، أخرى،

في حين ان البكتريا الارجوانية و البكتريا الخضراء قد درستنا بشكل واف، فان الانواع اللاواكسجينية الاخرى التي اكتشفت مؤخراً لم تدرس بالتفصيل بعد، ومنها الجنس Heliobacterium وهي بكتريا عصوية موجبة اللون غرام، مكونة للسبورات الداخلية قريبة من افراد الجنس Clostridium.

❖ بكتريا كيميائية ذاتية التغذية (Chemoautotrophs)،

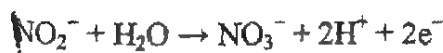
تحصل هذه البكتريا على الطاقة من عمليات الاكسدة للمواد غير العضوية واعتمادا على طبيعة المادة الاساس المؤكسدة من الممكن تمييز الانواع البكتيرية الاتية: بكتريا النترة (Nitirifying bacteria) وبكتريا الحديد (Ferruginous bacteria) وبكتريا الكبريت (Sulfur bacteria) وبكتريا الهيدروجين (Hydrogen bacteria).

❖ بكتريا النترة:

لهذه البكتريا دور مهم في المياه السطحية وهو اكسدة الامونيا الى النتريت وتقوم بها الاجناس Nitrosomonas و Nitrosococcus حسب المعادلة الاتية:



ومن ثم تقوم الاجناس Nitrobacter و Nitrococcus باكسدة النتريت الى نترات حسب المعادلة الاتية:



وعند التراكيز العالية تكون هذه المواد مضرّة للاحياء المائية و الانسان (في حالة استخدام هذه المياه في انظمة تجهيز مياه الشرب) فقد يؤدي التسمم بالنترات الى الموت، و من جهة اخرى يعد انتاج النترات عملية اساسية و مهمة تزود النبات بمصدر للنترجين.

❖ بكتريا الحديد:

تنمو هذه البكتريا في المياه عندما يتراوح محتواها من الحديد ثنائي التكافؤ بين 0.15 الى 8.5 ملغم لكل ديسيمتر مكعب، من اهم التأثيرات السلبية لهذه البكتريا هي التآكل (Corrosion) و التسبب بالرائحة الكريهة لانتاج المياه و المجاري و الهياكل المعدنية المختلفة، ان الانواع الاكثر شيوعا لبكتريا الحديد هي بكتريا *Leptothrix ochracea* و بكتريا *Crenothrix polyspora* و كلتاهما من البكتريا الخيطية المفردة المحاطة بغلاف هلامي مختلف السمك، تغير المواد الحديدية المخزونة في الخلايا من لون خيوط الخلايا الى اللون الاصفر او البني الداكن، يشيع وجود بكتريا الحديد في الاجسام المائية العذبة و خصوصا مياه الابار و العيون التي من الممكن مشاهدة تجمعاتها بالعين المجردة في حين تتواجد بغزارة في الجداول الموحلة و الاهوار و البرك.

❖ بكتريا الكبريت:

تتواجد بصورة رئيسة في المياه الحاوية على كبريتيد الهيدروجين الذي يعد مادة سامة للكثير من الاحياء المجهرية، اما بالنسبة لهذه المجموعة فيعد احد المركبات المهمة للعيش، من الممكن ان نجد هذه البكتريا في النتاييع المعدنية الحاوية على كبريتيد الهيدروجين من اصل جيولوجي، و كذلك في المياه عالية التلوث حيث يتكون نتيجة لعملية تحليل البروتين اللاهوائية او عملية اختزال الكبريت، الانواع النموذجية الممثلة لبكتريا الكبريت هي تلك المتحركة انزلاقا (Gliding)

مثل بكتريا *Beggiatoa alba* وبكتريا *Thiothrix nivea* الدائمة التواجد في القاع فضلا عن الانواع الاتية:

- بكتريا *Thiobacillus thioparus* التي تخزن الكبريت من اكسدة الثايوسلفات.
- بكتريا *Thiobacillus thiooxidans* التي تنمو في البيئات الحامضية pH 1.0 – 4.0.
- بكتريا *Thiobacillus ferrooxidans* تمتلك هذه البكتريا المقدرة على تحليل الثايوسلفات و التترائايونان، فضلا عن املاح الحديد.
- بكتريا *Thiobacillus denitrificans* اللاهوائية لها القدرة على استهلاك النترات كمستقبل للالكترون اثناء عملية اكسدة كبريتيد الهيدروجين. وعند الظروف الهوائية تنجز هذه العملية بوجود الاوكسجين.

❖ بكتريا الهيدروجين:

تمتلك القدرة على اكسدة الهيدروجين باستخدام الاوكسجين كمستقبل نهائي للالكترونات. وفي اغلب الاحيان تكون مختلفة التغذية ثم تتحول الى ذاتية التغذية عند تواجد الهيدروجين في الموطن البيئي، النوع الاكثر انتشارا يعود الى الجنس *Hydrogenomonas* وهناك ايضا البكتريا *Micrococcus denitrificans* التي تقوم باكسدة الهيدروجين وفي ذات الوقت تختزل النترات وصولا الى النتروجين الجزيئي، كما تقوم البكتريا *Desulfovibrio desulfuricans* باكسدة الهيدروجين واختزال الكبريتات وصولا الى كبريتيد الهيدروجين.

بعض انواع الجنس *Aquifex* المحبة للحرارة العالية تقوم باكسدة الهيدروجين ايضا في البيئات التي تصل درجة الحرارة فيها الى 95 درجة مئوية.

❖ البكتيريا مختلفة التغذية (Chemoorganotrophs):

القسم الأكثر سيادة من البكتيريا المقيمة المتوافرة في أحواض المياه هو البكتيريا كيميائية عضوية التغذية التي تعود إلى مجموعة رمية التغذية (Saprophytes) المتغذية على النباتات الميتة و المادة العضوية الحيوانية.

البكتيريا الهائمة النموذجية التي تشغل كتلة المياه بجمعها هي البكتيريا المصوية المسطرة السالبة للون غرام المتمثلة بالاجناس: *Pseudomonas* و *Achromobacter* و *Alcaligenes* و *Vibrio* و *Aeromonas* وكذلك المكورات الموجبة للون غرام العائدة للجنس *Micrococcus* والجنس *Treponema* والجنس *Spirillum*.

أجزاء النباتات الرقيقة المخمرة تحت الماء والدقائق المتواجدة دوماً تحت الماء عادة ما تستوطن بأعداد هائلة من البكتيريا الشبيهة بالساق مثل الجنس *Caulobacter* والبكتيريا المغلفة والبكتيريا الخيطية والجنس *Hyphomicrobium*. الأحياء التي تنمو عادة في رواسب القاع تكون بكتيريا التعفن اللاهوائية والبكتيريا المحللة للسليولوز اللاهوائية وكيميائية التغذية اللاهوائية مثل الجنس *Desulfovibrio* الذي يختزل الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين، فضلاً عن وجود البكتيريا المولدة للميثان بواسطة اختزال المركبات العضوية.

2. البكتيريا الدخيلة:

المياه ذات الخصوبة العالية وكذلك المياه عالية التلوث تزدهم بالبكتيريا رمية التغذية والبكتيريا المتطفلة والتي من بينها الأنواع السائدة الآتية: عصيات القولون السالبة للون غرام *Escherichia coli* وكذلك الاجناس *Proteus* و *Klebsiella* و *Enterobacter*، فضلاً عن عصيات *Pseudomonas aeruginosa* وعصيات الجنس *Arthrobacter*، كما تتواجد العصيات الموجبة

ملون غرام العائدة للجناس *Bacillus* و *Corynebacterium* و *Clostridium* التي تُغسل الى المياه قادمةً من التربة اثناء هطول الامطار الثقيلة.

تعد تفاعلات البلدية المصدر الاساس للبكتيريا الممرضة اثناء عمليات الترشح و الغسل حيث تجد بكتيريا التربة طريقها الى المياه علاوة على دور الهواء الفعال في تلوث المياه في مناطق المدن ذات الكثافة السكانية الهائلة و المناطق الصناعية.

❖ بكتيريا المياه الفقيرة بالمواد المغذية *Oligotrophic water bacteria*

في المياه الفقيرة بالمواد المغذية، تتخذ البكتيريا الحبة للتغذية القليلة (*Oligotrophic bacteria*) اشكالا متناهية في الصغر (*Microforms*) باقطار تتراوح من 0.4 الى اقل من 1.0 مايكروميتر، وهي نادرا ما تتضاعف اذ يتراوح زمن الجيل لديها من عشرات الساعات الى 200 ساعة، تسود البكتيريا في المياه الملوثة و تكون نسبة العصويات الى المكورات حوالي 1:90، اما في المياه النظيفة (غير الملوثة) مثل الانهار و الجداول فتكون حاوية على فلولورا مجهرية قليلة و تكون نسبة العصويات الى المكورات تقريبا 1:1.5 مما يدل على سيادة المكورات.

طورت بكتيريا المياه الفقيرة بالمغذيات عدة اليات مكنتها من اقتناص و الاحتفاظ الحد الاقصى من المغذيات المتوافرة مثل تجميعها داخل انايب او اغمد (*Sheaths*) توفر لها الحماية من المفترسات فضلا عن الالتصاق بالاماكن ذات الظروف المثلى، من هذه الانواع البكتيرية مثل *Sphaerotilus* و *Leptothrix* (انظر شكل 3) التي تميل الى تكوين سلاسل من الخلايا المغلفة داخل هذه الاغمد، تنشر هذه البكتيريا نفسها من خلال تكوين خلايا سابحة (*Swarmer*) ذات سوط قطبي تخرج من الجزء غير المتصق من الغمد، تنتقل هذه الخلايا الى سطوح صلبة جديدة حيث تلتصق و اذا توافرت مغذيات كافية فانها تتكاثر مكونة غمدا جديدا الذي يستطيل كلما نمت سلسلة الخلايا.



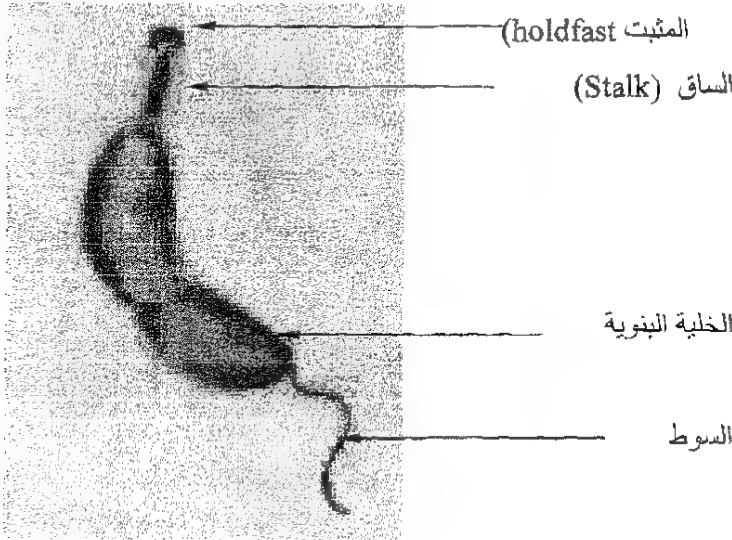
شكل (3): بكتريا المياه الفقيرة بالمفذيات

Leptothrix sp. ب. Sphaerotilus sp. ا.

او تكون لواحق تسمى (Prosthecae) والتي هي امتدادات من الساييتوبلازم والجدار الخلوي تزيد من المساحة السطحية، وبالتالي تسهل عملية امتصاص المفذيات التي تزودها بها بقية الأحياء المجهرية، كما تساعد في الالتصاق على السطوح الصلبة أيضا، تعد بكتريا Caulobacter أحد الأجناس المكونة لهذه اللواحق إلى جانب الجنس Hyphomicrobium.

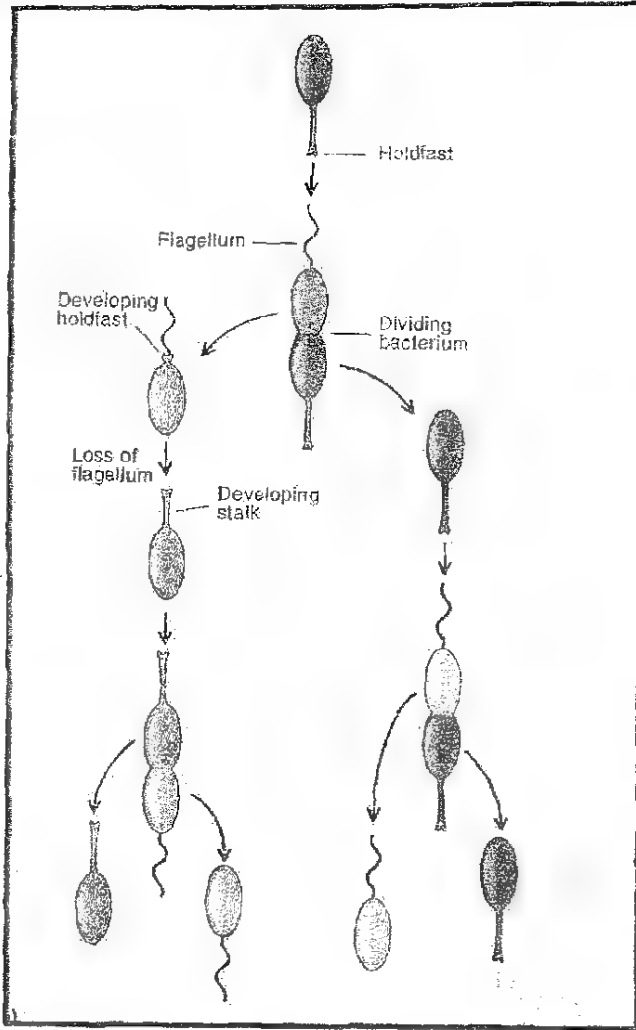
الجنس Caulobacter:

تمتلك خلايا هذا الجنس لاحقة قطبية واحدة تدعى الساق (Stalk) (انظر شكل رقم 4) الذي ينتهي بطرف لاصق يسمى القبضة او المثبت (Holdfast) المسؤول عن الالتصاق.



شكل (4) : بكتريا Caulobacter

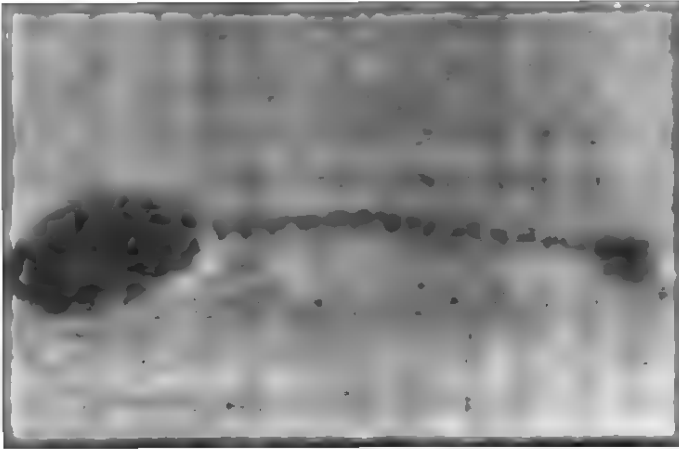
ولكي تتكاثر هذه البكتريا تتطاول من الطرف المقابل للساق وتنقسم بالانشطار البسيط مكونة خلية سباحة (Swarmer) متحركة بسوط قطبي واحد يقع في الطرف المقابل لوقع الانقسام، تنفصل هذه الخلية وتنتقل الى موقع آخر حيث تلتصق بوساطة المثبت عند قاعدة السوط ثم تفقد سوطها فيما بعد مستبدلة اياه بالساق وهنا فقط تستطيع الخلية البنوية ان تضاعف الدنا الخاص بها وتعيد الدورة من جديد (انظر الشكل 5).



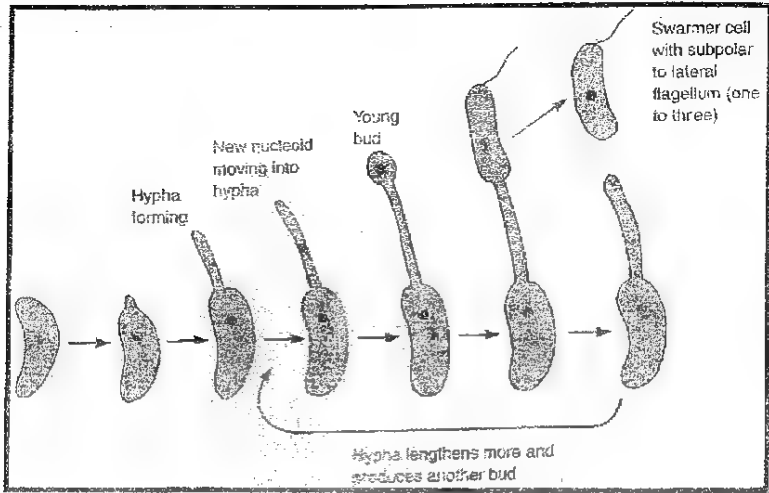
شكل (5): دورة حياة الجنس *Caulobacter*

الجنس Hyphomicrobium

تشبه انواع هذا الجنس (شكل 6) الى حد ما انواع الجنس Caulobacter من نواح عدة عدا ان لها (اي انواع Hyphomicrobium) دورة حياة مختلفة، اللاحقة المفردة القطبية للخلية الام تتضخم من الطرف البعيد مكونة برعما، الذي يستمر بالتضخم الى ان يكون سوطا وبالنهاية الى خلية بنوية متحركة تنفصل وتنتقل الى موقع اخر ومن ثم تفقد سوطها مكونة لاحقة قطبية في الطرف المقابل لتعيد الدورة من جديد (شكل رقم 7).



شكل (6): الجنس Hyphomicrobium



شكل (7): دورة حياة الجنس Hyphomicrobium

البكتيريا المتألقة (المضيئة) Bioluminescent bacteria:

تتمكن بعض أنواع بكتيريا Photobacterium و Vibrio (وهي عصيات سالبة اللون غرام، متحركة بسوط قطبي واحد، لأهوائية اختياراً، تعيش في البيئة البحرية المالحة) من ان تشع أو تتألق بظاهرة تدعى التألق الحيواني (Bioluminescent) التي تلعب دوراً مهماً في العلاقة التعايشية بين بعض أنواع البكتيريا وأنواع خاصة من الأسماك والحبار (Squid)، مثلاً تمتلك بعض أنواع الحبار عضو متخصص داخل كيس الحبر والذي يستوطن بالبكتيريا Vibrio fischeri، يعتقد ان الضوء المنتج يساعد المحار على جذب الفريسة أو تجنب مفترس أو لإيجاد شريك والمحار من جهته يوفر المغذيات للبكتيريا.

تتحفز عملية الاضاءة بوساطة الانزيم Luciferase واثبتت الدراسات ان الجين الذي يشفر له لا يعمل الا عندما تصل اعداد البكتيريا الى كثافة معينة اي ان البكتيريا تدرك أو تحس "sensing" ان اعدادها وصلت الى الكثافة المطلوبة، عرفت هذه الظاهرة بظاهرة ادراك النصاب (Quorum sensing).

ثانياً: الفطريات:

تتواجد الفطريات على شكلين اساسيين الخمائر (Yeasts) والاعفان (Molds)، والاخيرة تتميز بانتاجها لمستعمرات خيطية متعددة الخلايا، تتكون هذه المستعمرات من نبيبات متفرعة اسطوانية الشكل تدعى الخيوط الفطرية (Hyphae) متغايرة القطر من 2 - 10 مايكروميتر، تؤلف هذه الخيوط بمجموعها ما يسمى بالغزل الفطري (Mycelium)، تنقسم بعض الخيوط الفطرية الى خلايا بواسطة جدران عرضية او حواجز (Septa) تتكون عند مسافات متساوية اثناء نمو الخيوط الفطرية، وهناك مجموعة واحدة مهمة طبييا وهي مجموعة (Zygomycetes) تكون خيوط فطرية نادرا ما تكون مقسمة بحواجز.

اما الخمائر فهي خلايا مفردة كروية الشكل عادة او متطاولة (Ellipsoid) متغايرة القطر من 3 الى 15 مايكروميتر، يتكاثر معظم الخمائر بالتبرعم (Budding)، تكون بعض الانواع براعما تفشل في الانفصال عن الخلية الام و تتطاول ثم تنتج براعما غيرها الى ان تكون سلسلة من الخلايا تسمى الخيوط الفطرية الكاذبة (Pseudohyphae).

مقارنة مع البكتريا التي تنمو جيدا في المياه ذات الاس الهيدروجيني من 6 الى 8 فان الفطريات تتواجد في المياه ذات قيم اس هيدروجيني اقل من 6، عادة تتواجد الفطريات في المياه الضحلة على السطح او تحته مباشرة الامر الذي له ارتباط وثيق بحقيقة ان هذه الكائنات تتطلب وجود كميات عالية من الاوكسجين.

تقريبا الفطريات جميعها مختلفة التغذية تقوم بتحليل المادة العضوية؛ تشغل المياه بالفطريات رمية التغذية و المتطفلة التي تستوطن نباتات وحيوانات المياه، تتخذ اشكالا ذات تنوع اكثر من البكتريا كما انها تمتاز الى خلايا اكبر ذات تراكيب اكثر تعقيدا فضلا عن الفطريات

وحيدة الخلية (Unicellular fungi) هناك الفطريات متعددة الخلايا (Multicellular fungi) المكونة للغزول الفطرية (mycelia) الكبيرة.

تنقسم الفطريات الى اربعة شعب وهي: Zygomycota و Ascomycota و Basidiomycota و Deuteromycota، صنفت الشعب الثلاث الاولى اعتمادا على طريقة التكاثر الجنسي في حين الشعبة الاخيرة والتي تسمى ايضا الفطريات الناقصة (Fungi imperfecti) لم يلاحظ فيها التكاثر الجنسي لذا جمعت معا، واذا اجريت فحوص اضافية مثل تحليل الرنا الريبوسومي (rRNA analysis) فان اغلب الفطريات الناقصة سوف يضم اما الى Ascomycota او Basidiomycota.

تمثل الشعبة Ascomycota الشعبة الاكبر وتشمل اكثر من 60 % من الفطريات المعروفة و حوالي 85 % من الفطريات الممرضة للانسان، وتعود بقية الفطريات اما الى zygomycetes او الى basidiomycetes.

تتمثل الفطريات السائدة في البيئات المائية بالاعفان التابعة للصنف Oomycota مثل الجنس Leptomitius و الجنس Phytophthorora والصنف Zygomycota الممثل بالجنس Mucor والجنس Rhizopus، في حين تتواجد الفطريات العائدة للصنف Ascomycota وكذلك الصنف Deuteromycota بشكل متكرر نسبيا في المياه السطحية.

لا تتواجد الفطريات في المياه النظيفة (غير الملوثة) ولكنها تنمو بغزارة في قاع المياه الملوثة بالمجاري مثل النوع Leptomitius lacteus.

ثالثاً: السيانوبكتريا،

سابقا كانت هذه المجموعة من الاحياء تصنف ضمن الطحالب تحت اسم الطحالب الخضراء المزرقه، اما في الوقت الحاضر فانها تصنف ضمن مملكة بدائية

النواة (Prokaryota kingdom) وتحت المملكة البكتيريا الحقيقية (Eubacteria subkingdom).

تتصف هذه المجموعة بكونها سالبة اللون غرام بدائية النواة تتواجد على شكل مستعمرات (خلايا مفككة ترتبط معا بغلاف مخاطي) أو تكون خيطية الاشكال (Filamentous)، يتراوح حجمها من 1 مايكرومتر بالنسبة وحيدة الخلية و 30 مايكرومتر بالنسبة لمتعددة الخلايا، وتثبت النتروجين في الظلام.

تحتوي هذه الكائنات بدائية النواة على جسيم نووي (Nucleoid) بدلا عن النواة، ومقارنة مع البكتيريا الاخرى تكون قادرة على القيام بالبناء الضوئي الاوكسجيني حيث تأخذ الالكترونات من الماء لتختزل ثنائي اوكسيد الكربون نظرا لامتلاكها صبغة الكلوروفيل، والتي تخفيها في بعض الاحيان في صبغات البناء الضوئي الاخرى مثل الفيكوسيانين (Ficocyanine) والالوفيكوسيانين (Alloficocyanine).

اللون الاخضر المزرق المميز لهذه المجموعة ناشئ من اجتماع الكلوروفيل والفيكوسيانين، تتكاثر السيانوبكتيريا عن طريق التضاعف بوساطة الانشطار الخلوي (Cell fission)، ومن صفاتها المميزة الاخرى امتلاكها حويصلات غازية تمكنها من الحركة في المياه الى الاماكن ذات الاضاءة الجيدة، بعض انواع Anabaena تتمكن من ربط النتروجين الجوي بتركيب تسمى Heterocysts، و بسبب قدرتها على مقاومة الظروف البيئية المتطرفة استطاعت من الانتشار والتواجد في مختلف البيئات وبشكل واسع جدا، فمن الطبيعي مشاهدتها في الصحارى والينابيع الساخنة، تتسبب السيانوبكتيريا بظاهرة الاثرء الفذائي في البحيرات وخزانات المياه الاخرى، بعض انواع السيانوبكتيريا يكون منتجا لنواتج ايسية سامة.

رابعاً: الطحالب:

من الطحالب المميزة المتوفرة في المياه قليلة المحتوى الغذائي هي الدياتومات والعائدة للأجناس التالية: *Asterionella* و *Tabellaria* و *Melosira* و طحالب أخرى مثل *Dinobryon*، أما في المياه الغنية بالمغذيات فيكون محتواها من الطحالب مختلفاً تماماً، أغلبها يكون عدد مختزل من الدياتومات وبدلاً عنها تظهر الطحالب من الصنف *Dinophyta* وكذلك الجنس *Spirogera*.

تقسم الطحالب إلى الأصناف الآتية:

• *Chlorophyta*:

أو ما يعرف بالطحالب الخضراء، تحتوي على الكلوروفيل a و b ولها جدار خلوي سليكوزي وهي تتواجد بأشكال متعددة الخلايا وبتراكيب تشبه الخيوط، قد تكون الخلايا متحركة بوساطة أسواط أو غير متحركة. حاملات الأصباغ من مختلف الأشكال وذات لون أخضر. تتكاثر خضرياً أو جنسياً. التكاثر الخضري يكون بانقسام الخلايا وتجزؤ الأشكال الشبيهة بالخيوط.

• *Chrysophyta*:

تضم هذه المجموعة الدياتومات المهمة للبيئة المائية وهي طحالب شائعة و تتواجد في المياه العذبة ومياه البحار وفي رواسب القاع وفي التربة، وهي تحتوي على النوعين a و c من الكلوروفيل، كما أن جدارها غني جداً بالسليكا وتنتج الدهون كمادة احتياطية.

• Euglenophyta

طحالب شبيهة باليوجلينا لها اشكال متطاولة و خلاياها مجهزة باسواط
تتيح لها السباحة في المياه وقد تتحرك زحفا على طول القاع. تحاط الخلايا بغلاف
ناعم يدعى الجليد (Pellicle)، تحتوي حاملات الاصباغ على الكلوروفيل
والكاروتينات والزانشوفيلات، من الممكن مشاهدة النواة بوضوح داخل الخلية
وكذلك البقعة العينية المسماة Stigma التي تكون حساسة لحافز الضوء، تصنع
الخلايا شبيهة اليوجلينا اكياسا تساعدها على تحمل الظروف القاسية، تنمو هذه
الكائنات في المياه الحامضية على تراكيز من المركبات العضوية، وهناك بعض
الاشكال الطفيلية.

• Pyrrophyta

تتواجد عادة بشكل افراد و تحاط بعض الخلايا بجدار سليوزي في حين
البعض الاخر يكون خاليا من اي جدار خلوي، وهي عادة تمتلك سوطين تمكنها
من الحركة، في داخل البروتوبلازم هناك نواة معزولة حاملات اصباغ صفراء
مخضرة او صفراء بنية، تتكاثر هذه المجموعة بالانقسام و بعضها يتكاثر جنسيا،
تتواجد هذه المجموعة في مياه البحر معتدلة الملوحة وهناك انواع معينة تعيش في
المياه العذبة، وفي البحيرات يتواجد هناك النوع Ceratium hirundinella الذي
يظهر احيانا على شكل كتل كبيرة.

• Rhodophyta

تحتوي هذه المجموعة على كلوروفيل a و b فضلا عن الصبغات الاخرى
مثل الكاروتينات والزانشوفيلات و صبغات الفايكوبيلين مثل الفايكوايريثرين و
الفايكوسيانين، تستطيع هذه المجموعة تخزين النشا في خلاياها، جدرانها الخلوية
متكونة من طبقتين: الداخلية متكونة من السيلولوز في حين تتكون الطبقة الخارجية

من البكتين، تتكاثر هذه المجموعة لاجنسيا عن طريق تجزؤ (Fragmentation) الثالثوس وجنسيا بواسطة Oogamy.

• Phaeophyta :

طحالب بنية اللون تحتوي على كلوروفيل و a و c و الكاروتينويدات (فوكوزانثين)، تخزن مواد احتياطية مثل اللامينارين (β -1,3-glycan) و كريسولامينارين و المانيتول و الدهون، جدارها الخلوية ثنائي الطبقة: الداخلية تتكون من السليلوز بينما الخارجية تتكون من البكتين، الطحالب البنية احياء متعددة الخلايا تمتلك أعلى درجات التخصص للثالوس و التغاير المظهري والتشريحي من بقية الطحالب. تتكاثر لاجنسيا بواسطة Zoospores وجنسيا بواسطة الامشاج (Gametes).

خامساً: الابتدائيات:

تعيش الابتدائيات في جميع انواع المياه من البرك الضحلة الى البحار، وهي كائنات مختلفة التغذية تتغذى عن طريق امتصاص المركبات العضوية الذائبة او عن طريق التهام البكتيريا، تتواجد بكثرة في المياه عالية التلوث، كما انها واحدة من عناصر الحماة المنشطة (Activated sludge)، عندما يكون مستوى التلوث ليس عالياً جداً في المياه، تسود الهدديات (Ciliates) حرة السباحة (Paramecium) و تلك المستقرة (Vorticella).

من الممكن ان تقسم الابتدائيات الى اربعة اصناف:

• السوطيات (Flagellata):

تتحرك باسواط طويلة، مختلفة التغذية و تتواجد في المياه الملوثة او في الحماة المنشطة غير الكفوءة وظيفياً، كما يمكنها ان تمتص البكتيريا او الطحالب

وحيدة الخلية فضلا عن المواد الذائبة الأخرى، تتواجد السوطيات أفرادا أو مستعمرات، كما يحوي هذا الصنف على أنواع متطفلة أيضا متمثلة بالأنواع *Giardia lamblia* التي تصيب أمعاء الإنسان و *Trypanosoma gambiense* التي تنتقل إلى الإنسان عن طريق ذبابة *Tsetse* مسببة مرض النوم الأفريقي و اضطرابات عصبية.

• كاذبة الأقدام (Rhizopoda):

خلايا أميبية الشكل تستغل بالأقدام الكاذبة للحركة ولاقتناص الغذاء، بعض الأميبيات تمتلك شكلا متغيرا في حين الأخريات لها شكل ثابت كونها مزودة بهيكل خارجي صغير جدا (Mini-skeleton) أو قشرة خارجية، بعض الأنواع تحيا حياة طفيلية مثل *Entamoeba histolytica* التي تتطفل على أمعاء الإنسان مسببة الزحار الأميبي (Amoebic dysentery).

• الهدبيات (Ciliata):

معظمها تحيا حياة هائمة في الماء (Free swimming) مثل *Paramecium* و *Euplotes* والبعض منها يزحف أو يلتصق بالقاع، تتغذى على البكتيريا والطحالب والمواد العضوية، تتواجد الهدبيات بأعداد كبيرة في المياه الملوثة والحمأة النشطة كما يكون بعضها متطفلا على الإنسان مثل *Balantidium coli* الذي يتطفل على الإنسان والحيوان.

• البوغيات (Sporozoa):

ابتدائيات متطفلة تتمثل بالأنواع *Cryptosporidium parvum* التي تتطفل على أمعاء الإنسان و *Plasmodium malariae* التي تسبب مرض الملاريا الذي يصيب كريات الدم الحمراء وهو ينتقل إلى الإنسان عن طريق بعوض *Anopheles*.

الفصل الخامس

الأحياء الممرضة

المتواجدة في المياه

ماهو الكائن الممرض:

ان مصطلح ممرض (Pathogen) مشتق من كلمتين اغريقيتين Pathos وتعني يعاني وكلمة gen وتعني مولد او منتج، وبهذا تكون معنى waterborne pathogens هو الاحياء المجهرية التي تسبب الامراض والتي تتواجد في الماء، اكثر الانواع المايكروبية الممرضة شيوعا في المياه هي البكتيريا، ولكن هناك ايضا الابدائيات والفايروسات وبعض الاتواع الطحلبية، علما انه ليس كل الكائنات المجهرية في المياه ممرضة بل على العكس يكون اغلبها مفيد خصوصا في اعادة تدوير العناصر وتحليل المواد العضوية.

عادة اغلب الاحياء المجهرية تعيش في البيئات الدافئة والرطبة والمظلمة التي تكون غنية بالمغذيات وتشكل القناة المعوية في الانسان او الحيوان بيئة ملائمة جدا للاحياء المجهرية الممرضة، يطرح الانسان او الحيوان المصاب الملايين من الاحياء المجهرية الممرضة والكثير منها لن يتمكن من البقاء حيا في الظروف القاسية في العالم الخارجي، في حين البعض منها يجد طريقه الى البيئة المائية و من هناك الى مضيف اخر، غالبا تدخل هذه الكائنات البيئة المائية بوساطة مياه الفضلة وكذلك عن طريق المخلفات التي ترمى في الشواطئ.

اولاً: البكتيريا:

معظم الانواع البكتيرية حرة المعيشة ولكن هناك انواعا منها تصيب الانسان والحيوان تدخل اجسامها عن طريق البلع او الاستنشاق او الغزو.

مجموعة البكتيريا الممرضة اجبارا المتواجدة في المياه السطحية الملوثة تتمثل بالعصيات المسببة للتاييفويد (*Salmonella typhi*)، فضلا عن بقية انواع هذا الجنس التي تتسبب بمختلف الاصابات للقناة الهضمية، وكذلك العصيات السالبة للملون غرام *Shigella* المسببة للزحار البكتيري الذي يكون اقل شيوعا من التاييفويد، وفي المياه السطحية للمناطق الاستوائية تتواجد البكتيريا المسببة

للكوليرا *Vibrio cholerae* بكثرة، كما يمكن لبكتريا التدرن *Mycobacterium tuberculosis* وبكتريا *Legionella* ان تتواجد في المياه الملوثة.

وتعد البكتريا اللولبية *Leptospira interrogans* والبكتريا *Campylobacter jejuni* من الانواع الاكثر اهمية طبيا.

وهناك عديد من البكتريا السالبة للمون غرام التي توصف بانها احياء انتهازية تتمثل بالاجناس:

Flavobacterium و *Klebsiella* و *Aeromonas* و *Pseudomonas* و *Enterobacter* و *Citrobacter* و *Serratia* و *Acinetobacter* و *Proteus* و *Providencia* و *Escherichia*، جميع هذه العصيات هي جزء من الفلورا الاعتيادية للأمعاء وهي ليست ممرضة بذاتها ما دامت متواجدة في امعاء الانسان او الحيوان، و لكن في بعض الحالات تجد طريقها الى اعضاء اخرى وتصبح مسبب لمختلف الامراض مثلا خمج (*infection*) المجارية البولية او التنفسية و الاثنان (*Sepsis*) (عبارة عن اصابات عامة تصيب الاعضاء الداخلية للجسم).

تقدر جرعة الإصابة لأغلب الأنواع البكتيرية وخصوصا البكتريا المعوية للأشخاص المصابين بحوالي عشرة الاف خلية حية، في حين يقل هذا العدد بكثير في حالة بكتريا *Shigella* و *Salmonella*.

• بكتريا القولون *Escherichia coli*

بكتريا عصوية الشكل يتراوح طولها من 2 - 6 مايكرومتر و عرضها من 1.1 - 1.5 مايكرومتر، سالبة للمون غرام و غير مكون للسبورات، متحركة باسواط محيطية (*Peritrichous*) لاهوائية اختيارا، بعض سلالاتها مكون للمحفظة (*Capsule*) المؤلفة من عديد السكريات الحامضية (*Acidic polysaccharides*)، تكون السلالات المخاطية (*Mucoid strains*)

بوليمرات خارج خلوية تدعى مستضد K (Antigen K) ويدعى عديد السكريد الحامضي المكون من حامض الكولانيك (Colanic acid) مستضد M (Antigen M)، تكون هذه البكتيريا انواعا مختلفة من الاهداب (Fimbriae) الضرورية للاتصاق بخلايا المضيف.

اكتشفت *E. coli* لأول مرة من العالم Theodor Escherich أثناء دراسته لفلورا امعاء الرضع. وقد وصفها في العام 1885 على انها *Bacterium coli commune* وثبت صفاتها الامراضية في الاصابات خارج الامعاء، استخدم الاسم *Bacterium coli* كثيرا حتى العام 1919 ثم حل محله اسم الجنس *Escherichia* والنوع النموذجي (*type species*) هو *Escherichia coli*.

تصنف *E. coli* كاحد افراد الفلورا الطبيعية غير الضارة للانسان في الجزء البعيد من القناة المعوية، عموما يكتسب هذا الجنس عند الولادة او عن الطريق الفموي - البرازي من الام او من البيئة، ومعظم سلالات *E. coli* غير ممرضة ولكن هناك بعض السلالات تكون مسببة لعدد من الامراض.

تكون *E. coli* المسبب الشائع لخمج المجاري البولية وافتان البول كما انها عرفت على انها المسبب لخمج السحايا في الاطفال حديثي الولادة والانتان والخراجات (Abscesses) في مختلف اعضاء الجسم، من الممكن ان تسبب بكتيريا *E. coli* خمج الامعاء الحاد (Acute Enteritis) في الانسان والحيوان على حد سواء واسهال المسافرين (Traveller's diarrhea) وهو مرض شبيه بالزحار (Dysentery) يصيب الانسان و خمج القولون النزلي (Haemorrhagic colitis) الذي يسمى عادة بالاسهال الدموي.

اجري العديد من الدراسات المختبرية حول التجريع الفموي (Oral challenge) لعدد من انواع *E. coli* لتحديد الجرعة اللازمة للاصابة و الاسهال وظهرت النتائج ان النوع Enteropathogenic *E. coli* (EPEC)

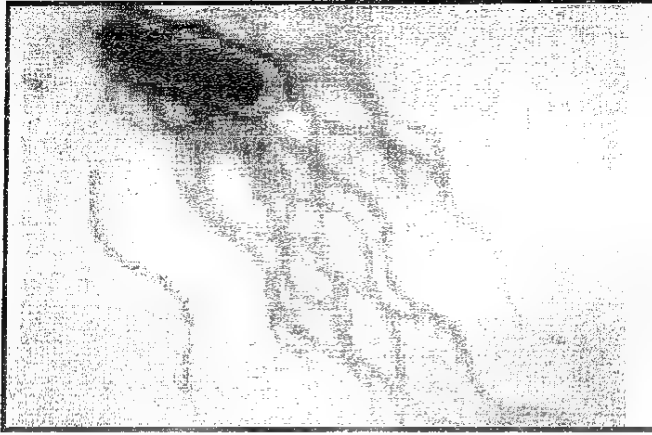
يحتاج من 10^5 الى 10^{10} خلية، وان Enterotoxigenic E.coli (ETEC) تحتاج من $10^8 - 10^{10}$ ، وان Enteroinvasive E. coli (EIEC) تحتاج 10^8 خلية، وتتفاير هذه الجرعة طبقا الى عوامل الجنس والعمر وحموضة المعدة، اما بالنسبة للنوع Vero cytotoxigenic E.coli (VTEC) والذي يسمى ايضا Enterohemorrhagic E.coli (EHEC) فتكون الجرعة اللازمة للاصابة اقل من 100 خلية حسب تقرير Advisory committee on the microbiology of food, 1995، وهناك النوع Enteraggregative E.coli (EAEC) المسبب لاسهال مخاطي دموي تكون جرعة الاصابة له جدا عالية، ولا زالت الابحاث تجرى حول النوع Diffusely adherent E.coli (DAEC) الذي يسبب الاسهال المائي في الاطفال الاكبر عمرا.

جميع الانواع المرضية معويا العائدة لبكتريا E.coli تكتسب من حاملي المرض سواء من البشر او الحيوانات بصورة مباشرة او غير مباشرة، والخطورة تكمن في ماء الشرب لذا فان كلورة الماء كفيل بالقضاء على هذه البكتريا، مع ذلك يبقى الاهتمام منصبا على الدور المهم والكامن للغشاء الحيائي الذي يحمي بكتريا E.coli المرضية معويا في الماء من فعل المطهرات وخصوصا البكتريا (EHEC) ذات جرعة الاصابة المنخفضة.

لقد وجد ان السلالة E.coli O157 تتمكن من البقاء حية لمدة 21 يوما في الماء ولكنها حساسة للكلور كاي سلالة عائدة لبكتريا E.coli اخرى.

• بكتريا السالمونيلا Salmonellae:

بكتريا سالبة اللون غرام عصوية الشكل يتراوح طولها من 2 - 5 مايكرومتر وعرضها 0.8 - 1.5، على الرغم من وجود سلالات متحركة بوساطة اسواط محيطية توجد هناك سلالات غير متحركة ايضا، لاهوائية اختيارا غير مكونة للسبورات (انظر شكل 8).



شكل (8) بكتريا السالمونيلا و يلاحظ الاسواط المحيطية

تنتقل عن الطريق البرازي - الضموي و تسبب ما يدعى بداء السالمونيلا (Salmonellosis) الذي ينقسم الى ثلاثة انواع سريرية تصيب الانسان، وهي خمج القناة المعدية المعوية (Gastroenteritis) والحمى المعوية (Enteric fever) وانتان الدم (Septicaemia).

يصيب خمج القناة المعدية المعوية القولون الذي يحدث بعد 18 - 48 ساعة من ابتلاع عصيات السالمونيلا ويتصف بالاسهال والحمى والم في البطن وهو خمج ذاتي الشفاء يبقى لمدة يومان الى خمسة ايام.

تسبب الحمى المعوية او حمى التيفوئيد عن بكتريا *S. typhi* والحمى جنب التيفوئيد عن بكتريا *S. paratyphi A, B and C*. حمى التيفوئيد اشد و تبقى لمدة اطول و تتسبب بوفيات اكثر تتمثل بالاعراض الآتية: حمى متواصلة و اسهال والم في البطن وقد تشمل الاعراض عجز الكبد والطحال و ضرر عصبي و تنفسي، تبقى الاعراض لمدة اسبوعين الى ثلاثة اسابيع.

يتميز انتان الدم بقشعريرة وحمى عالية متقطعة وفقدان الشهية و
تجرثم الدم، قد تتموضع البكتيريا في اي عضو من اعضاء الجسم وتكون افات تؤدي
الى داء السحايا (Meningitis) او خمج شفاف القلب (Endocarditis) او ذات
الرئة (Pneumonia) او خمج العظام (Osteomyelitis) .

تخدم الحيوانات البرية والداجنة كمستودعات (Reservoirs)
للسالمونيلا مثل الدواجن والوزو والماشية والطيور والكلاب والقوارض والسلاحف و
القطط، ويدخل الانسان ضمن هذه القائمة مثل المصابين غير ظاهري الاعراض او
ما يسمون بناقلي المرض الشافين (Convalescent carriers) .

تحصل الاصابة عند ابتلاع الطعام او الحليب او الماء الملوث ببراز المضائف
المصابة او بابتلاع منتجات اللحوم المصابة .

قد تتواجد السالمونيلا في اي جسم مائي (مياه عذبة او مصب و بحر او مياه
جوفية) اذا تلوث بالمجاري، معظم الانواع المصلية للسالمونيلا قادرة على البقاء حية
في المياه وقد تتكاثر في المياه عالية التلوث في الاشهر الدافئة من السنة، وفي ضوء
الادلة الموثقة فان معاملة مياه الشرب بالمعقمات والمطهرات يكون فعالا ضد
السالمونيلا على الرغم من وجود ما يثبت انها اكثر مقاومة من بكتريا القولون،
كما ان عدم وجود بكتريا القولون و E.coli في المياه المعالجة لا يعني بالضرورة عدم
وجود السالمونيلا في تلك المياه، اما اذا استطاعت تكوين الغشاء الحياتي في المياه
فمن المحتمل ان تعيش لمدة طويلة نتيجة للحماية التي يوفرها الغشاء الحياتي ضد
المطهرات .

بسبب صعوبة كشف وتعداد الكثير من الاحياء المجهريه الممرضة فان
الطرائق المستعملة للكشف عنها تكون غير عملية وبالتالي لا يمكن عد ذلك دليلا
على تواجدها او غيابها في تلك المياه، وبناءً على ذلك عمدت كل منظمة الصحة
العالمية (WHO) ومنظمة حماية البيئة الامريكية (US EPA) الى وضع معايير

مايكروبية عامة تخصص التعداد الكلي لبكتيريا القولون ووالبكتيريا البرازية كدليل على التلوث بالمجاري.

• عصيات الشيغلا *Shigellae*:

عصيات سالبة اللون غرام غير متحركة لاهوائية اختياراً، تصنف ضمن العائلة المعوية *Enterobacteriaceae*، اكتشفت لأول مرة من العالم Kiyoshe Shiga في العام 1898 مع ان هناك دلائل تشير الى Ogata في اليابان عام 1892 وChantemesse وWidal في فرنسا عام 1888 يمكن ان يكونوا قد عزلوها مبكراً، نشر اسم الجنس *Shigella* لأول مرة عام 1919 من الباحثين Castellani وChalmers.

من الممكن ان يقسم هذا الجنس اعتماداً على الصفات البايوكيميائية والمصلية الى اربعة مجاميع مصلية: المجموعة A وتشمل النوع *S. dysenteriae* الذي يضم في الاقل عشرة انواع مصلية والمجموعة B وتشمل النوع *S. flexneri* و يضم ستة انواع مصلية، والمجموعة C التي تشمل النوع *S. boydii* و تضم خمسة عشرة نوعاً مصلياً، والمجموعة D التي تضم نوعاً مصلياً واحداً تشمل النوع *S. sonnei*.

تستطيع هذه الانواع تحمل الظروف الحامضية المتطرفة (pH 2.5) لمدة قصيرة ولكنها تفضل النمو عند الظروف المتعادلة او القاعدية الخفيفة (pH 7 – 7.4).

تنتقل بواسطة الطريق البرازي – الفموي مسببة مرض الزحار البكتيري او ما يسمى بداء الشيغلالات (*Shigellosis*) في الانسان الذي قد يطرح ما مقداره $10^5 - 10^9$ عصبية لكل غرام من البراز في حين يطرح ناقل المرض الاصحاء $10^2 - 10^6$ لكل غرام.

بعيدا عن الحالة النهائية للشخص المصاب، تعتمد شدة المرض على سلالة البكتيريا فالمرض المتسبب عن *S. sonnei* يميل الى ان يكون خفيفا وقصير الامل، بينما المتسبب عن *S. flexneri* يميل الى ان يكون شديد الوطأة، اما السلالتان *S. dysenteriae* و *S. boydii* فتسببان امراضا متغايرة الشدة وترتبط *S. dysenteriae* بالابوية ذات الامراضية الشديدة.

تقدر جرعة الاصابة في الشيغلا بحوالي 10^4 وفي دراسة اجريت على متطوعين تناولوا غرامين من بكتريا *Vibrio cholerae* ارتفعت الى 10^8 ، وعموما تعد اقل من جرعة الاصابة في بكتريا *Vibrio cholerae* التي تكون بحدود 10^7 او اكثر من ذلك.

تظهر اعراض المرض فجأة وعادة تكون مغص في البطن يتبعه اسهال مائي مصحوبا عادة بحمى وبتوكمك (Malaise)، وقد يطرح بعض المرضى كميات قليلة من البراز الدموي المخاطي.

تنتج هذه البكتيريا ذيفانا خارجيا عصبيا يدعى Shiga toxin يؤثر في نقل السوائل داخل الطبقة المخاطية المعوية ولحد الان لم يعرف دوره في الامراضية.

من الممكن ان نتواجد الشيغلا في المياه السطحية ومياه الشرب الملوثة وهي مشكلة كبيرة خصوصا في البلدان النامية، وكقاعدة عامة ماء الشرب لا يحتوي على الشيغلا الا اذا كان غير معالجا.

يعتمد بقاء الشيغلا في الماء على تركيز الخلايا البكتيرية الاخرى والمغذيات والاكسجين ودرجة الحرارة، ففي المياه النظيفة لا تتمكن الشيغلا من البقاء حية لاكثر من 14 يوما عند درجة حرارة اكثر من 20 درجة مئوية، اما عند المياه ذات الحرارة اقل من 10 ملوي فتمكن من البقاء حية لمدة قد تصل الى اسابيع، وقد تمكنت *S. dysenteriae* من البقاء حية لمدة تراوحت من شهرين الى 29 شهرا

في مياه معقمة ملوثة بالبراز، كما ذكرت بعض المصادر أن *S. flexneri* كانت قادرة على التضاعف في ماء نهر معقمة.

الاصابات بانواع الشيغلا غالبا ما تكتسب تلوث ماء الشرب ببراز الانسان او عن طريق تناول غذاء مغسول بماء ملوث، وهناك دلائل تشير انه من الممكن ان يصاب الانسان بالشيغلا عن طريق السباحة في المياه الملوثة بالمجاري.

• بكتريا الكوليرا (*Vibrio cholerae*)

بكتريا منحنية الشكل قصيرة (0.5 – 0.8 قطراً و 1.5 – 2.5 مايكرومتر طولاً) سالبة للملون غرام غير مكونة للسبورات ولا تكون محفظة وهي لاهوائية اختياراً، وتتحرك بمساعدة سوط قطبي واحد، ففي الاوساط السائلة تظهر جميع الضمات (*Vibrios*) حركة شديدة تشبه حركة السهم (*Darting*) لها القدرة على مقاومة الظروف القاعدية القوية والتراكيز الملحية العالية.

في البدء صنفت هذه البكتريا الى سلالات O1 وسلالات ليست O1 (non-O1) التي سميت فيما بعد باسم اخر هو O139 Bengal والان هناك 206 نوعاً مصلياً.

تقسم سلالات O1 الى نوعين حياتيين (*Biotypes*) تدعى التقليدي (*Classical*) و El Tor (El Tor) وكلاهما يقسم الى ثلاثة انواع مصلية *Inaba* و *Ogawa* و *Hikojima*.

تسبب مرض الكوليرا وتنقل عن الطريق البرازي - الفموي لذا يجب ان تبتلع باعداد كبيرة جداً كي تتمكن من تخطي حموضة المعدة لتسبب الاصابة، و بعد ان تلتصق بالخلايا الطلائية تبدأ بإفراز ذيفان معوي خارجي يسمى ذيفان الكوليرا (*Cholera toxin*) الذي يكون مسؤولاً عن اعراض مرض الكوليرا المتمثلة

باسهال مائي قد يصل الى 20 لتر يوميا و بسبب مظهره و لونه يدعى ماء الرز (Rice water stool) علاوة على التقيؤ. يحصل الموت بسبب الجفاف.

ابتلت البشرية بوباء الكوليرا سبعة مرات منذ بدايات القرن التاسع عشر ، ستة منها كانت بسبب النوع الحياتي التقليدي والسابع تسبب بها النوع الحياتي ال تور ، فبين العام 1832 و العام 1836 مات اكثر من 200 الف اميركي عندما اجتاح الوبائان الثاني و الرابع امريكا الشمالية. بدأ الوباء السابع في العام 1961 في اندونيسيا منتشرا الى جنوب اسيا و الشرق الاوسط و اجزاء من افريقيا و اوروبا ، بقيت امريكا الجنوبية خالية من الكوليرا لثلاث السنين حتى كانون الثاني عام 1991 عندما ظهر الوباء في بيرو فجأة، و يعتقد السبب في ذلك وصول مياه قذرة الى ميناء ليما و كان ماء البلدية غير مكلور (Not chlorinated) مما ادى الى تلوثه بسرعة، ثم انتشر المرض بسرعة فقد ظهرت 700 الف حالة اصابة و 6323 حالة وفاة.

المصدر الرئيس للعدوى هو المياه الملوثة ببراز الانسان و كذلك الخضراوات المسمدة ببراز الانسان فالشخص المصاب بالكوليرا يطرح مليون او اكثر من البكتريا لكل مليلتر من البراز.

تتمكن *Vibrio cholerae* من البقاء حية في البيئة مدة اطول من بقية الانواع البكتيرية البرازية مما يدعو الى الاهتمام اكثر بها، عزلت هذه البكتريا من المياه السطحية و مياه الشرب كما يمكنها البقاء حية لمدة تمتد الى 13 يوما في هذه البيئات، اما سلالات النوع O1 المنتجة للذيفان فتكون قادرة على البقاء حية في البيئات المائية لعدة سنوات و ربما يعود ذلك الى تواجدها على هيئة غشاء حياتي (Biofilm).

هناك ضمات مرضية اخرى غير *V. cholerae* مثل البكتريا *V. parahaemolyticus* المسبب الرئيس لمرض تسمم غذائي في جنوب شرق اسيا

خصوصا في اليابان، وهناك أيضا أنواعا معزولة من الانسان تشمل *V.alginolyticus* المحبة للملوحة، و *V.vulnificus* التي تكون شديدة الغزو تصيب الافراد ضعيفي المناعة والذين يتناولون الغذاء البحري، و *V.damsela* المسؤولة عن اصابات الجروح، والنوع *V.hollisae* الذي يسبب الاسهال والنوع *V.mimicus* المرتبط بحالات الاصابة المعوية المعدية والنوع *V.fluvialis* الذي يسبب الاسهال والحمى.

• بكتريا *Campylobacter*:

عصيات منحنية او حلزونية سالبة اللون غرام يتراوح عرضها من 0.2 الى 0.4 مايكرومتر وطولها من 0.5 الى 5 مايكرومتر غير مكونة للسبورات تتحرك بسوط قطبي واحد في احد اطراف الخلية او كليهما عدا النوع *C. gracilis* الذي يكون غير متحركا، بكتريا قليلة التهوية (*Micoraerophilic*) تتطلب 3 الى 5% من ثنائي اوكسيد الكاربون و 3 الى 15% من الاوكسجين، تظهر اشكالا كروية في المزارع القديمة المعرضة للهواء والتي يشار لها بانها حالة حية ولكن لايمكن زرعها (Viable but non-culturable state).

تعد هذه البكتريا متعايشة (*Commensals*) وخصوصا الانواع *C.jejuni* و *C.coli* في اغلب الحيوانات اما في الانسان فتسبب امراضا مثل الاسهال و خمج الامعاء والقولون.

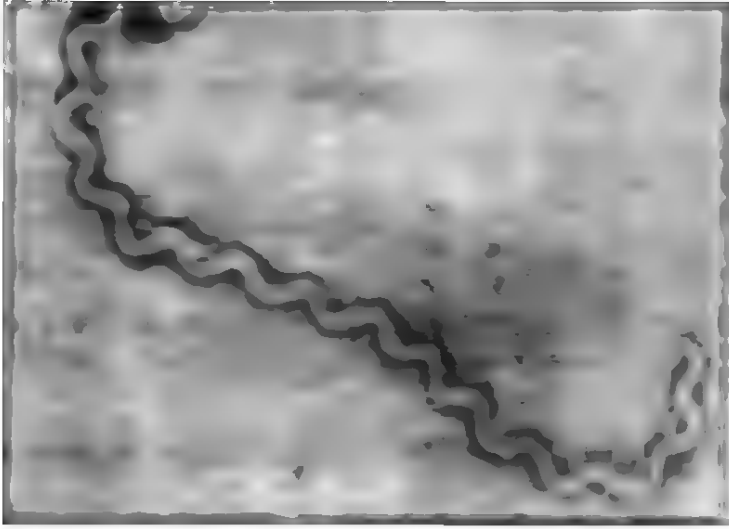
الاعراض الرئيسية للاصابة ببكتريا *Campylobacter* في الانسان تشمل الاسهال الحاد، وتتراوح فترة الحضانة من يوم الى ثمانية ايام، كما ان جرعة الاصابة تتفاير بشكل كبير مع ان بعض الدراسات ذكرت ان ابتلاع بضعة مئات من الخلايا قادرة على احداث اصابة، ظهور الاسهال يكون مفاجئا تسبقه عادة اما اعراض شبيهة بالانفلونزا أو ألم حاد في البطن أو كلاهما، هذه الاعراض تشبه الى حد ما اعراض خمج الزائدة الدودية (*Appendicitis*) مما يفضي الى التشخيص

الخاطئ، يكون الاسهال كثيرا و مائيا ربما بسبب انتاج الذيفان المعوي شبيه الكوليرا او قد يكون زحاريا حاويا على دم و مخاط، في الاطفال الصغار تظهر اعراض خفيفة من الاسهال المائي، تنتشر بكتريا *Campylobacter* في البيئة بشكل واسع فقد تم عزلها من المياه العذبة والبحرية فضلا عن مياه المجاري غير المعالجة اذ يكون عددها كبيرا مقارنة مع المياه السطحية، كما يمكنها البقاء حية لمدة اسابيع في المياه الجوفية عند 4 درجة مئوية وفي البيئات المائية يسود النوع *C.jejuni* اكثر من النوع *C.coli* او النوع *C.lari*، وفي الحقيقة ان نمو هذه البكتريا ينتعش كلما قلت درجة الحرارة عن 15 درجة مئوية، وهي حساسة للكلورة لذا ينصح بكلورة الماء للتخلص منها.

يرتبط تواجد بكتريا *Campylobacter* في البيئة و خصوصا المائية بتواجد العقديات البرازية (*Fecal streptococci*) و بكتريا القولون البرازية.

• بكتريا *Leptospira interrogans*.

عصيات سالبة للون غرام لولبية الشكل (انظر شكل 9) هوائية تتواجد في البيئات المائية او داخل اجسام الحيوانات، هناك ثلاثة اشكال منها هوائية وهوائية اختيارا و لاهوائية، و كل منها يتكاثر في ماء الفضلة، تكون الغشاء الحيائي الذي يبطن الاحواض الرئيسية للمجاري (*Manholes*) تسبب هذه البكتريا مرض *Leptospirosis* الذي يصيب الكلى وينتقل عن طريق ادرار الحيوانات المصابة و خصوصا القوارض، والذي يصيب ملايين البشر و بنسبة موت تقترب من 25 % في بعض المناطق حيث يتعرض الناس الى الماء الملوث بادرار الحيوانات المصابة، و يترافق انتشار المرض مع الفصول الدافئة من السنة و الفيضانات حيث تغسل التربة الحاوية على ادرار الحيوانات المصابة الى المصادر المائية مثل الابار و الجداول.



شكل (9) البكتريا اللولبية *Leptospira interrogans*

تتضمن اعراض هذا المرض حمى وصداع وتلف في الكبد والكلى وقد يؤدي الى الموت، يمر بفترة حضانة تتراوح من 10 - 12 يوما، واغلب حالات هذا المرض تكون غير ظاهرة الاعراض. تدخل البكتريا الى الجسم المضيف عن طريق عبور الاغشية المخاطية للعين او الفم او تشققات الجلد (Abrasions) او عن طريق ابتلاع الماء والطعام الملوث، وحالما تصبح البكتريا داخل الجسم تدخل النبيبات اللولبية (Convolutated tubules) للكلى وتبدأ بالتضاعف مسببة المرض وتطرح مع الادرار مرة اخرى.

تموت اللولبيات (Spirochetes) خارج الجسم وخاصة في المياه الحامضية، ولكنها تتمكن من البقاء حية لمدة ثلاث ساعات في المياه المتعادلة والقاعدية الخفيفة.

يمكن تجنب التعرض لهذه البكتيريا في مياه المجاري وذلك بالسيطرة على القوارض في شبكة المجاري، و تحطيم الغشاء الحيائي في الاحواض الرئيسية باضافة المنظفات (Detergents) او ترش بحامض اليوراسيك و الهيدروكلوريك نظرا لان انخفاض الاس الهيدروجيني يؤدي الى قتلها، وبعد ذلك يجب ازالة الاغشية الحياتية المعاملة بدفق المياه نحوها.

ثانياً: الفايروسات:

الى جانب البكتيريا المتواجدة في المياه السطحية حيث ترمى مياه الفضلة الصناعية و البلدية فالمياه تحتوي على كميات كبيرة من الفايروسات، و خصوصا فايروس شلل الاطفال و التهاب الكبد و الفايروسات المعوية التي تتواجد حتى في الانهار قليلة التلوث.

الفايروسات كائنات فائقة الصغر لا يمكن مشاهدتها بالمجاهر الاعتيادية ولكن يمكن مشاهدتها باستخدام المجهر الالكتروني، وتكون هذه الكائنات خاملة و غير متحركة، ومتنوعة التركيب ولكن هناك مكونين رئيسيين يؤلفان التركيب العام لمعظم الفايروسات وهما المحتوى الوراثي (حامض نووي اما DNA او RNA) و يدعى اللب (Core) و الغلاف البروتيني (Capsid) الذي يوفر الحماية للمحتوى الوراثي و يكون مسؤولا عن الالتصاق بالخلية المضيفة و اختراقها، في حين يقوم اللب بالسيطرة على الخلية المضيفة وتسخير طاقتها ومحتوياتها وانظمتها الانزيمية لتضاعفه و انتاج فايروسات جديدة، و قد تحتوي بعض الفايروسات على غلاف دهني و لذلك تسمى بالفايروسات المغلفة (Enveloped viruses).

ونظرا لكونها طفيليات اجبارية داخل خلوية (Obligate intracellular parasites) لذا فان جميع الفايروسات ممرضة و هي تصيب كل الكائنات الحية و على الرغم من ذلك فلبعضها فائدة قيمة اذ يستخدم البعض منها في انتاج المضادات الحياتية، كما تستخدم الفايروسات التي تصيب البكتيريا (العانيات)

(نظر شكل 10) في علاج البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية مثل *Staphylococcus aureus*.



شكل (10): العاثيات البكتيرية تصيب خلية بكتيرية

هناك عدة مجاميع فايروسية بشرية تتواجد في المياه وخصوصا مياه الفضلة (Wastewater) منها فايروسات التهاب الكبد ذات الأهمية القصوى، وهناك 100 نوع من الفايروسات المعوية الممرضة للإنسان وبجرعة إصابة (Infective dose) قليلة نسبيا، فضلا عن بعض الفايروسات التي ظهرت مؤخرا والتي تشمل فايروسات الأيدز و انفلونزا الطيور و فايروس غرب النيل (West Nile virus).

تنتقل الفايروسات بعدة طرق منها المسلك المعوي (البرازي - الضمي) و المسلك التنفسي و الأول هو الأكثر شيوعا، كما يمكنها ان تنتقل بواسطة النواقل (Vectors) مثل الذباب و البعوض.

وستتناول بعض الانواع الفايروسية بشئ من التفصيل

فايروس انفلونزا الطيور:

تتسبب الانفلونزا بوفيات عديدة بين البشر و انفلونزا الطيور احد الامراض التي ظهرت حديثا، تعرف ايضا باسم الانفلونزا الاسيوية. انصب الاهتمام عليه لعدة اسباب منها معدل التطفير السريع و الحصول على المعلومات الوراثية من بقية فايروسات الانفلونزا التي تصيب الانسان او الحيوان، و هو خطر جدا على الانسان و ينتشر بسرعة مسببا الوبئة.

في العام 1918 اصيب البشر بهذا الفايروس و خلال شهر واحد تمكن الفايروس من التكيف للمضيف الجديد، و كان اول مضيف بشري له الجنود في الحرب العالمية الاولى، وانتشر الفايروس بسرعة و قتل من البشر اكثر مما فعل الطاعون في تلك الفترة (في غضون ستة اشهر قتل ما يقرب من ثلاثين مليون شخصا).

هناك طريقان لوباء الانفلونزا كي ينتشر الاول هو عودة ظهور سلالة فايروسية كامنة من اصل بشري بسبب المدة الطويلة نسبيا منذ التفشي الاخير له لذا لا توجد اليات دفاعية ممكن ان تكون جاهزة لمقاومته، والثاني هو اكتساب سلالة غير بشرية مثلا من الطيور القدرة على الاصابة و الانتشار السريع.

ويعد ان اصاب فايروس انفلونزا الطيور انسانا مصاب بفايروس انفلونزا بشري اجتمعت السلالتان معا وكونتا سلالة طافرة جديدة جزء بشري و اخر من الطيور و حالما يستوطن الفايروس الجديد فهو ينتقل بسرعة.

ان فايروس انفلونزا الطيور (H5N1) A هو احد خمسة عشر نوعا فايروسيا يسبب انفلونزا الطيور، و هو عادة ينتقل عن طريق البط و لا يصيب الدجاج و الخنازير، الطيور المصابة تمرر الفايروس عن طريق الفضلات والافرازات

الضحية لمدة لا تقل عن عشرة سنوات، و لهذا الفايروسات القدرة على الانتقال من الطيور الى الانسان الامر الذي قد يؤدي الى الموت.

اصاب هذا الفايروس (H5N1) الملايين من الدجاج في كمبوديا والصين و اندونيسيا واليابان وكوريا الجنوبية وتايوان وتايلاند وفيتنام، وكذلك اصاب البشر في الصين (هونج كونج) وتايلاند وفيتنام، واول اصابة بشرية ابلغ عنها كانت في هونج كونج عام 1997.

البشر الذين يتماس مع الطيور اكثر عرضة للاصابة بهذا الفايروس و لا يوجد دليل قاطع على قدرته للانتقال من انسان الى اخر.

يقاوم هذا الفايروس العقاقير المضادة للفايروسات القديمة مثل Amantadine و Rimantadine مع ذلك يظهر انه حساس للعقاقير الجديدة مثل Relenza و Tamiflu المثبطة لانزيم Neuraminidase. ولا زالت منظمة الصحة العالمية تعمل على تطوير لقاح ضده.

الفايروسات المعوية Enteroviruses:

جسيمات صغيرة عشرونية الاوجه (Icosahedral) بحجم 21 نانوميتر قطرا غير مغلفة الحامض النووي من نوع RNA بحجم 7.5 kb طولا، تضم الانواع الاتية Coxsackievirus و Echovirus و Poliovirus.

الفايروسات المعوية ثابتة عند قيم اس هيدروجيني من 3 الى 10 وهي مقاومة لمركبات الامونيوم الرباعية (Quaternary ammonium compounds) و 70% ايثانول و لكثير من المنظفات، وتكون حساسة للكلورو هايوكلورايت الصوديوم والفورمالديهايد والجلوترالديهايد والاشعة فوق البنفسجية.

تدخل الفيروسات المعوية الى الجسم عن طريق الفم وتعمل القناة المعوية و الجهاز التنفسي كمواقع رئيسة لتضاعفها، فضلا عن الانسجة اللعابية و البلعوم.

اغلب انواع الاصابة بالفايروسات المعوية تكون غير ظاهرة الاعراض (Asymptomatic) وتقريبا 1 % من هذه الاصابات تكون امراضا سريرية منتجة مدى واسع من الاعراض التي تشمل اعراضا شبيهة بالانفلونزا بضمنها الحمى و التوعك والامراض التنفسية والصداغ والم في العضلات قد تتطور الى خمج السحايا.

من بين كل الفيروسات المعوية تعد فايروسات Polioviruses المسبب لأكثر الامراض العصبية شدة اذ تسبب الشلل الارتخائي (Flaccid paralysis) الذي يمثل العرض الرئيس للاصابة بها، وهو يصيب الرئيسيات مثل الانسان والحيوانات العليا مثل القرود والشمبانزي، وهناك ثلاثة انماط مصلية منه. ينتقل عن البرازي - الفموي ويتضاعف في المنطقة الفموية البلعومية (Oropharynx) والقناة المعوية وخصوصا في العقد اللعابية ثم ينتشر عن طريق الدم الى الجهاز العصبي المركزي ويتضاعف هناك في النيرونات العصبية الواقعة في القرن الداخلي (Interior horn) للنخاع الشوكي، موت هذه الخلايا بسبب شلل العضلات التي تزودها بالايعازات العصبية ولا يحصل الشلل بسبب اصابة الفايروس للعضلات.

بينما يكون الشلل مؤقتا عند الاصابة بفايروسات Cocksackieviruses B وترتبط الاصابة بفايروسات Cocksackieviruses A بمرض اليد والقدم والفم بشكل خاص و بالنسبة لفايروسات Cocksackieviruses B يكون مرض بورنهولم (Bornholme) وخمج الغشاء المحيط بالقلب (Pericarditis) وخمج عضلات القلب (Myocarditis) اكثر الامراض الناجمة عنها، كما تؤدي الاصابة بفايروسات Echoviruses الى خمج المخ (Encephalitis) ومتلازمة جولايين-

باريه (Guillain-Barre syndrome) والفايروس المعوي 70 enterovirus بخمج ملتحمة العين النزفي (Haemorrhagic conjunctivitis) ولا يرتبط اي من الاعراض الناجمة عن الفايروسات المعوية بالاسهال او التقيؤ.

تعتمد شدة الاصابة بالفايروسات المعوية على المحتوى الوراثي للفايروس وعلى الجرعة الاولى للاصابة وعمر المريض واستجابته المناعية.

اشار معظم الدراسات الى امكانية تواجد الفايروسات المعوية في المياه الملوثة ببراز الانسان طيلة السنة مع بعض التغيرات الفصلية اذ تزداد تراكيزها في فصلي الصيف والخريف في نصف الكرة الارضية الشمالي والارضي.

كشفت عن تواجد الفايروسات المعوية في مياه الاستحمام وخصوصا ماء البحر في كثير من اجزاء العالم مثل المملكة المتحدة واسبانيا وفرنسا و استراليا هولندا و ايطاليا و هاواي و فلوريدا وربما يعزى ذلك الى ان الاطفال المستحمين يتغوطون في هذه المياه، وبذلك ينشرون الفايروسات فيها، كما تم الكشف عن توافرها في المياه الجوفية.

مجموعة فايروسات التهاب الكبد،

يتصف مرض التهاب الكبد باصابة فايروسية و التهاب (Inflammation) يؤدى الى تليف وتشمع الكبد، الفايروسات التي تسببه تسمى بمجموعها فايروسات التهاب الكبد وتشمل A و B و C و D و E و F واخرى غير معروفة بشكل جيد، كل نوع من هذه الانواع قد يتسبب في مضاعفات اخرى.

ينتقل النوعان A و E عن طريق المياه والطعام الملوثين في حين يعد النوعان B و C من الممرضات التي تنتقل عن طريق الدم.

هائيروس Hepatitis A virus (HAV)

من الفايروسات غير المغلفة بقطر يتراوح من 25 الى 28 نانوميتر حاور على حامض نووي من نوع RNA بطول 7478 قاعدة.

يظهر ثباتا عند pH يبلغ 3 ومقاومة للانزيمات المعوية و لدرجة حرارة 60 مئوي لمدة عشرة ساعات ، ولكنه يثبط عند 100 درجة مئوية بعد دقائق قليلة، ونظرا لكون الفايروس غير مغلف فلا يتاثر بالكلوروفورم او الايثر او الفريون ويبقى حيا لعدة اشهر عند درجة حرارة الغرفة في المياه والجاري والمحار، ويتاثر بالكلور عند تركيز 2 ملغم لكل لتر بعد 15 دقيقة وكذلك باليود والاشعة فوق البنفسجية و الايثانول تركيز 70 %.

ان مصدر هذا الفايروس في البيئة هو مياه المجاري وينتشر بواسطة الطريق البرازي الفموي اذ يطلق بتركيز عالية جدا في غائط الاشخاص المصابين قبل ظهور اليرقان باسبوع و لعدة ايام بعده، خصوصا اذا كانت النظافة الشخصية ضعيفة جدا و الاجراءات الصحية لتعقيم المياه غير متوفرة او قليلة.

عند اصابته الانسان ينتج اعراضا تشمل التوعك (Malaise) و الحمى تتبعها بعدة ايام غثيان و تقيؤ و ألم في البطن ثم يتحول لون الادار الى اصفر داكن، وبعدها يظهر اليرقان (Jaundice) الذي قد يبقى لمدة اسبوع الى اسبوعين مصحوبا بالتوعك لمدة شهرين الى ثلاثة اشهر، و لا يتطور هذا المرض الى الحالة المزمنة، وترتبط شدة المرض بالعمر اذ يكون اشد في المرضى البالغين.

ونظرا لكون العاملين في معالجة مياه الفضلة فقد يكونون عرضة للاصابة بفايروس (HAV) خصوصا اذا لم يتم اتباع اجراءات السلامة والحذرو الاعتناء بالنظافة الشخصية.

يعد HAV من اهم الممرضات المعوية وذلك لعدة اسباب:

1. شدة المرض.
2. العدد الهائل الذي يصل الى المياه و طول المدة التي يطلق فيها الفايروس من الاشخاص المصابين.
3. ثبوتية الفايروس خارج الجسم المضيف.
4. اذا التصق الفايروس بخلية او بجسم صلب فانه يصبح مقاوما لكثير من المطهرات مثل الكلور الحرو و الهايوكلورايت و الكلورامين المستخدمة لتطهير المياه.

يمتلك النوعان B و C مقاومة عالية جدا ضد المنظفات والحرارة العالية فالتنوع B يمكنه ان يعيش لشهر واحد على السطوح الجافة، كما ان قدرته على الاصابة والانتقال الى مضيف اخر اكثر بمئة مرة من فايروس الايدز، وكلا النوعين لا يتاثران بالكحول.

فايروس Hepatitis E virus (HEV)

احدث فايروسات التهاب الكبد اكتشافا يحتوي على حامض نووي من نوع RNA بطول 7500 قاعدة وهو فايروس غير مغلف بقطر 30 نانوميتر لذا يقاوم الايثر و الكلوروفورم و لازالت الدراسات تجري لغرض تحديد مدى حساسيته للكلور وغيرها من المركبات الكيميائية.

يسبب اعراضا تشمل فقدان الشهية و ألم في البطن و اليرقان و التي تكون عادة خفيفة و لا تتطور الى الحالة المزمنة، ولكنه قد يكون شديدا على المرأة الحامل بنسبة وفيات تقترب من 20 % و لا يعرف ما الذي يسبب هذه الشدة في المرض لحد الان، و تكون الاعراض اكثر ظهورا في الاشخاص البالغين.

ينتقل عن الطريق البرازي - الفموي و خصوصا الماء و الطعام الملوثين اكثر من التماس المباشر. قليلة هي التقارير التي تؤكد توافره في البيئات الطبيعية.

ارتبط هذا الفايروس بالوباء الذي حدث في الصومال بين العامين 1988 و 1989 نتيجة لاستهلاك ماء النهر بعد امطار كثيفة، و يبدو ان المجتمعات السكانية التي تشرب من مياه الآبار اقل عرضة للاصابة بهذا الفايروس.

فايروسات الروتا Rotaviruses:

تصنف فايروسات الروتا على اساس المجاميع المصلية (Serogroups) و الانواع المصلية (Serotypes) و الاكثر حداثة المجاميع الجينية (Genogroups)، هناك ستة مجاميع مصلية من A الى F و تكون المجموعة A الاكثر شيوعا في احداث الاصابة في البشر، و قسمت الانواع المصلية بالاعتماد على تفاعلات التبادل مستضدات الغلاف البروتيني (Capsid)، اما المجاميع الجينية فقد قسمت الى الانواع G و تضم اربعة عشر مجموعة (G1 - G14) والانواع P (P1A[8]-P1B[4]) و التي تتميز بوساطة تقنية RT-PCR.

فايروسات الروتا كبيرة الحجم نسبيا (75 نانوميتر قطرا) عشرونية الوجة حاوية على ثلاثة اغلفة بروتينية و على 60 شوكة (Spikes)، الحامض النووي من نوع RNA مزدوج الشريط.

يقاوم الايثر و الكلوروفورم و يحافظ على فعاليته في اس هيدروجيني من 3 الى 9 عند 4 درجة مئوية خصوصا اذا حفظ بوجود كلوريد الكالسيوم، يثبط بالفينول والكلور والايثانول والفورمالين.

وهو من الفايروسات الشائعة التي تصيب الاطفال دون سن الخامسة و يسبب القيء و الاسهال الذي يكون مهددا للحياة اذا تطور الى الجفاف الشديد، ينتقل عن

الطريق البرازي - الفموي بفترة حضانة تقدر بثمان و اربعين ساعة، قد يصيب الكبار و لكن يكون غير ظاهر الاعراض اما في كبار السن الراقيدين في المستشفى فيتعرضون للاصابة بسبب ضعف المناعة.

فايروس متلازمة نقص المناعة المكتسبة (الايدز):

تؤدي الاصابة بفايروس نقص المناعة الى تدهور كبير في الجهاز المناعي و يتصف هذا التدهور بتحطيم الخلايا اللمفاوية التائية (T - lymphocytes) وفقدان الفعالية العامة للجهاز المناعي و بالتالي فسح المجال للممرضات الانتهازية و الاورام الخبيثة بالانتشار في الجسم و هتكه.

يعد هذا الفايروس من الفايروسات الدموية قد يتواجد في المياه و خصوصا مياه المجاري وذلك بسبب وصول السوائل الجسمية الملوثة به مثل الدم و الادراء و السائل المنوي و النفايات الاخرى مثل الواقي الذكري الى تلك المياه، ومع انه لا يوجد دليل او حالة تدل على ان الفايروس ينتقل الى الانسان عن طريق المياه و لكن يجب اتباع الاجراءات الصحية العامة في التعامل مع المياه المحتمل تلوثها بهذا الفايروس، يتاثر هذا الفايروس بسهولة بالمنظفات البيتية مثل هايپوكلوريت الصوديوم.

ثالثاً: الابتدائيات:

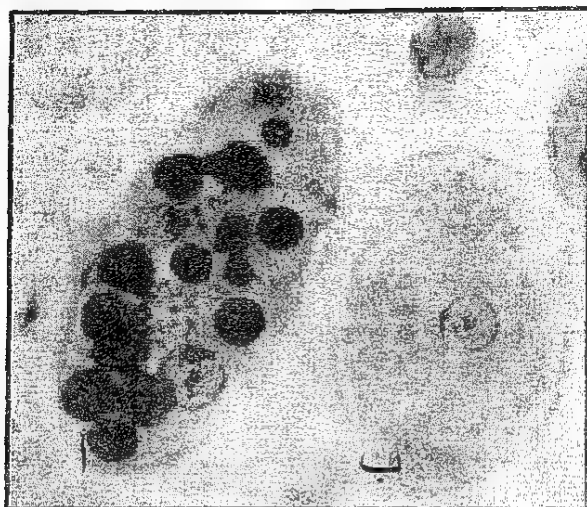
تأتي اصابات القناة الهضمية من الابتدائيات المتواجدة في المياه الملوثة، فمعظم الابتدائيات المتطفلة تكون اكياسا (Cysts) قادرة على العيش في المضائق حيث الظروف قد تكون غير ملائمة التي اذا تحسنت ينبت الكيس الى خلايا خضرية تسمى Trophozoites.

• Entamoeba histolytica

ان الابدائيات الاميبية العائدة للجنس Entamoeba تعود الى الشعبة Sarcodina والرتبة Amoebida والعائلة Endamoebidae.

وعلى الرغم من ان الكثير من الاميبات (Amoebae) يستوطن القناة المعدية المعوية في الانسان وتشمل انواعا عديدة منها و Entamoeba histolytica و E.coli و E.dispar و E.hartmanni و E.polecki و Chilastix mesnili و Endolimax nana و Iodamoeba buetschlii، فان اغلبها يكون غير ممرض او في الاقل لازالت امراضيتها مشكوك فيها مثل E.polecki، وهناك من يتواجد في اماكن غير الامعاء فمثلا تستوطن الاميبا Entamoeba gingivalis الفم و ترتبط بامراض اللثة، ويبقى النوع E. histolytica الاميبا الممرضة الاكثر شيوعا المسببة للزحار الاميبي او ما يعرف Amoebiasis والتي تصيب حوالي 10 ٪ من البشر.

يتميز سايتوبلازم الخلايا الخضرية بانقسامه الى منطقتين خارجية ضيقة شفافة و داخلية محبة حاوية على كريات الدم الحمراء وبكتيريا تتحرك بالاقدام الكاذبة (Pseudopodia) (انظر شكل رقم 11).



شكل (11): الطور الخضري للطفيلي *Entamoeba histolytica* ويظهر فيه خلية ملتهمة لعدد من كريات الدم الأحمر (أ) وأخرى خالية تماما (ب).

وصفت دورة حياة *E. histolytica* لأول مرة من قبل العالم Dobell عام 1928 وذكر أنها تتألف من عدة أطوار: الكيس المعدي (Infective cyst) وما بعده الكيس (Metacyst) والطور الخضرى ما بعد التكيس (Metacystic trophozoite) والطور الخضرى المتغذى المتحرك (Motile feeding trophozoite) وما قبل الكيس (Precyst)، الشكل الكيسي (10 - 16 مايكرومتر) الذي يظهر في الأمعاء فقطح يطرح مع البراز ويكون قادرا على البقاء حيا في الماء والطعام (شكل 12)، تنتقل الأكياس الناضجة الحاوية على أربعة أنوية إلى الإنسان عن طريق ابتلاع المياه والأطعمة الملوثة بالبراز أو عن طريق التماس المباشر، تنشيط الأميبات التي بداخل الكيس الناضج بواسطة بيئة الأمعاء الدقيقة المتعادلة أو القاعدية وتنفصل عن جدار الكيس الذي يتحلل بفعل أنزيمات الأمعاء الهاضمة، يحصل انقسام نووي وسيتوبلازمي سريع إلى ثمانية خلايا خضرية أحادية النواة، تهاجر الخلايا الخضرية (20 - 40 مايكرومتر) إلى

الأمعاء الغليظة حيث تنقسم بالانشطار الثنائي وتتفدى على بكتيريا الفلورا الطبيعية في الأمعاء وعلى حطام الخلايا (Cell debris)، قد يُحفَز التكيس (Encystation) بالظروف الجافة للأمعاء وتظهر الأكياس الحاوية كل منها على واحدة إلى أربعة أنوية التي بدورها تطرح مع البراز فيما بعد.

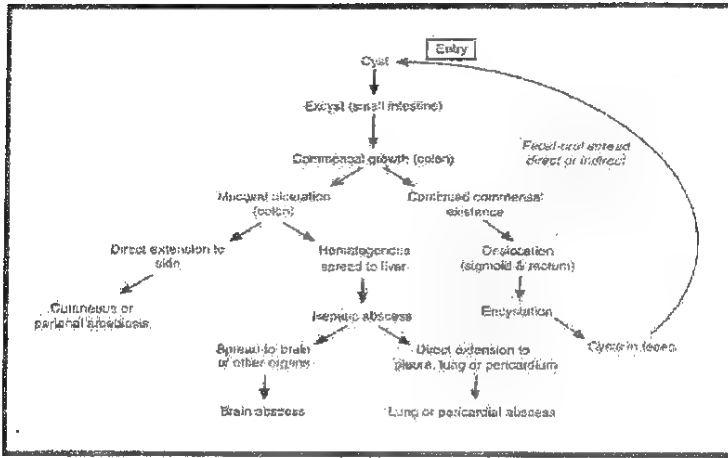


شكل (12): الطور المتكيس لطفيلي *Entamoeba histolytica*
وتظهر فيه الأنوية الأربعة

كما أن الخلايا الخضرية قد تطرح مع البراز هي الأخرى أثناء خمج القولون الحاد فلا تكون مسؤولة عن نشر الإصابة كونها لا تتحمل العيش خارج الجسم و تتحطم بالأس الهيدروجيني المنخفض للمعدة وإنما تحدث العدوى بسبب الأكياس النشطة (شكل 13).

تتراوح شدة الإصابة بـ *E. histolytica* من الإصابة غير ظاهرة الأعراض أو طرح الأكياس إلى خمج القولون الشرجي (Rectocolitis) و خمج القولون غير الزحاري المزمن (Chronic non-dysenteric colitis)، يصيب المرض الشديد

الوطأة حوالي 20% من المرضى، ويظهر مرضى الزحار الاميبي الحاد خلال اسبوع او اسبوعين اسهال مائي حار على دم ومخاط والم في البطن وحمى، اكثر المتأثرين به هم الاطفال والنساء الحوامل و مرضى المناعة الضعيفة اذ تتصف الاعراض بالم في البطن واسهال دموي شديد و حمى وتتجاوز نسبة الوفيات 50%.



شكل (13): مخطط يوضح دورة حياة Entamoeba histolytica

وكما يوحي الاسم فإن E.histolytica لها تأثير حال لانسجة المضيف و يبدأ اجتياح (Invasion) الخلايا الخضرية للطبقة المخاطية للأمعاء والمعوي الاغور (Caecum) والقولون، باستنفاد الطبقة المخاطية والهضم البروتيني للانسجة مسببا نخرا (Necrosis) لانسجة المضيف وافات ذات شكل دوري مميز.

على الرغم من الخلايا الخضرية تطرح مع البراز فهي تتحطم بسرعة و اذا ابتلعت لا تتمكن من تحمل البيئة الحامضية في المعدة، ولكن جدار الكيس الواقي يضمن بقاء الكيس حيا، ويشكل استخدام براز الانسان كسماد مصدرا رئيسا للإصابة إذ تتمكن الاكياس من البقاء حية لمدة ثلاثة اشهر اعتمادا على الظروف، كما تتمكن من العيش عند 4 درجة مئوية لمدة 12 اسبوعا في موائل البيض

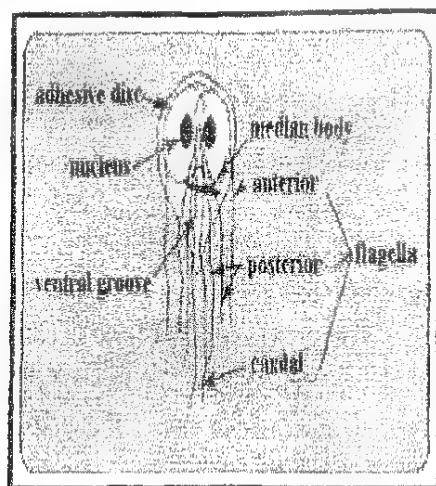
(Egg slant cultures) في حين ان معاملة الاكياس بحرارة 64 درجة مئوية لمدة خمسة دقائق او 100 درجة مئوية لمدة عشرة ثواني او بالكلورة العالية (Hyperchlorination) و المعاملة باليود كفيل بقتلها، ولكن المعاملة بتراكيز الكلور المستعملة في تجهيز المياه العامة لا تجدي نفعا .

• *Giardia duodenalis*

ابتدائي مسوط (Flagellated) يعود الى شعبة (Sarcomastigophora) ورتبة Diplomonadida وعائلة Hexamitidae .

وصف هذا الطفيلي لأول مرة من قبل Leeuwenhoek في العام 1681 عندما قام بفحص برازه ووصف حجمها وشكلها ملاحظا تواجدتها يكون مرتبطا باصابته بالسعال وعاداته في تناول الطعام، ثم قام العالم Lambi بوصفه في العام 1859 و سماه *Cercomonas intestinalis* ثم اعطي اسماء عديدة منها الاسم *G. lamblia* و *G. eterica* اللذان اقترحا في العام 1915 و 1920 على التوالي في حين يبقى الاسمان *G. duodenalis* و *G. intestinalis* الاكثر دقة من الناحية التصنيفية على الرغم من ان بعض المصادر الطبية تفضل الاسم الاول والبعض الآخر، تلاسف، يستخدم الاسم *G. lamblia* للجيارديا المعزولة حصرا من الانسان، في حين اثبتت الدراسات الوراثية ان بعض الانواع الجينية تتواجد في الانسان والحيوان على حد سواء.

للجيارديا دورة حياة بمرحلتين تتكون من الخلايا الخضرية المسوطة تشبه القلب متناظرة (Symmetric) 10 - 20 مايكروميتر طولا و 5 - 7 مايكروميتر عرضا، له اربعة ازواج من الاسواط ثنائي النواة وخيط محوري (Axostyle) وهناك قرص ماص مقعر الشكل يقع في الجزء العلوي للسطح البطني (شكل 14). و كيس ذو شكل متطاوّل (Ellipsoid) بطول 9 - 12 مايكروميتر (انظر شكل 15).



شكل (14): الطور الخضري لطفيلي *Giardia duodenalis*



شكل (15) الطور المتكيس لطفيلي *Giardia duodenalis*

تكون الإصابة غير اجتياحية (Non invasive) وتبدأ بعد أن يتم ابتلاع الأكياس المتواجدة في الطعام أو شرب المياه الملوثة، أو تنتقل إلى الجسم عن الطريق البرازي - الفموي، تنبت الأكياس في الأمعاء الدقيقة عندما تتحرر الخلايا الخضرية من كل كيس، وهذه العملية تستحث بالبيئة الحامضية للمعدة وحتى خارج الجسم الحي إذا تعرضت الأكياس إلى أس هيدروجيني منخفض، وكذلك بالانزيمات الالية التربسين والكيموتربسين وسائل البنكرياس، الخلايا الخضرية إما أن تكون حرة داخل تجويف الاثني عشر (Duodenum) أو الصائم (Jejunum) أو تلتصق بسطح الخلايا المعوية المخاطية بواسطة القرص البطني . تتكاثر الخلايا الخضرية بالانقسام الطولي الثنائي، حاملًا يمر الطفيلي من الأمعاء الدقيقة إلى القولون تنضج لتكون أكياساً مقاومة التي تطرح مع البراز وغالباً ما تكتشف في البراز غير الاسهالي (Non-diarrhoeic stool).

تتفاير الأشكال السريرية للإصابة من النقل غير ظاهراً الأعراض (Asymptomatic carriage) إلى الاسهال الشديد وسوء الامتصاص

(Malabsorption)، وقد يعزى هذا التغير الى الاختلافات في امراضية العزلات المختلفة والاستجابة المناعية للأشخاص المصابين.

تشتمل امراض الاصابة على اسهال و ألم في البطن و انتفاخ و غازات و تومك و تحشؤ كبيرتي (Sulphurous belching) و غثيان و تقيؤ.

تقاوم الاكياس الظروف البيئية وبالتالي تتمكن من العيش في البيئة المائية سواء في المناطق الحضرية او الريفية. وعلى الرغم من انها تثبط بالكلور فانها تظهر مقاومة له، كما تظهر مقاومة للأوزون وللأشعة فوق البنفسجية أكثر من البكتريا و أقل من *Cryptosporidium*، لقد وجد ان الاكياس تتمكن من البقاء حية لمدة ثلاثة اشهر في المياه الباردة و مياه الاسالة (Tap water) كما يمكنها العيش في المياه المعالجة، اظهرت المطهرات الحاوية على الفينول قابلية تثبيطية عالية لأكياس الجيارديا بنسبة 99 ٪ بعد مدة تماس قدرها دقيقة واحدة ، كما ان المطهرات الحاوية على اليودين أكثر فاعلية في تثبيط الاكياس من تلك الحاوية على الكلور مع العلم ان الاولى اظهرت عملها بعد ثمان ساعات من التماس، في حين رفع درجة الماء الى 70 درجة مئوية لمدة عشرة دقائق كان فعالا في القضاء عليها.

رابعا: الفطريات:

من الممكن ان تتواجد الفطريات في المياه السطحية الملوثة مثل الاجناس *Microsporum* و *Trichophyton* و *Epidermophyton*، وهي فطريات جلدية (Dermatophytes) تغزو الطبقة المتقرنة (Keratinized structure) من الجلد و صولا الى الادمة والخلايا المولدة، وقد يعود ذلك الى امتلاكها انزيم (Keratinase) الذي يمكنها من اذابة الطبقة المتقرنة و استهلاكها كغذاء.

الفصل السادس

معالجة مياه الفضلة

ما هي مياه الفضلة؟

تطرقنا في فصول سابقة لموضوع مياه المجاري (Sewage) وكيف ان هذه المياه تعد السبب الرئيسي لتلوث المياه وذلك لانها تحمل عدد هائل من الملوثات رغم ان هذه الملوثات تختلف باختلاف نوعية مياه المجاري، فهناك عدة انواع من مياه المجاري.

انواع مياه المجاري

أ. التصنيف المعتمد على المصدر

1. تحتوي مياه المجاري المنزلية (Domestic sewage) على كميات كبيرة من المواد البرازية والمخلفات النباتية والحيوانية و مواد خافضة للشد السطحي واليوريا، والتي تأتي من المنازل والمرافق العامة (Lavatories) والمنشآت الصناعية الامر الذي يفرض تهديدا صحيا و وياثيا.
2. مياه المجاري الصناعية (التقنية) والتي تتكون اثناء مختلف عمليات التصنيع.
3. تحتوي مياه الترسيب (الامطار ومياه ذوبان الجليد) على مختلف الشوائب (Impurities) الجوية (مثل الفبار والاحياء المجهرية والمواد الغازية) ومخلفات غسل الشوارع والمناطق المعبدة (مثل الزيوت والوقود السائل والبكتريا والعوالق (Suspensions) والشوائب المايكروبايولوجية (مثل البكتريا والفايروسات والفطريات).

ب. التصنيف المعتمد على الضرر

1. الضرر المباشر.
2. الضرر غير المباشر (الذي يؤدي الى خفض مستوى الاوكسجين في المياه تحت مستوى المتطلبات الضرورية للكائنات).

ج. التصنيف المعتمد على ثبوتية التلوث:

1. المواد القابلة للتكسير (Degradable) – المواد العضوية التي تتكسر وتتحول الى مركبات ابسط.
2. المواد التي ليس لها قابلية التكسير (Non-degradable) – وهي المواد التي لا تخضع لاي عمليات تحول كيميائية و لا تتحلل بفعل المايكروبات.
3. المواد الصامدة (Stable) – وهي المواد التي تخضع لعمليات التحلل الحياتي بصورة واهية و تبقى في البيئة صامدة و لا تتغير لمدة طويلة من الزمن.
- د. من صنع الانسان

1. حضرية و منزلية – مصدرها منشآت تصنيع الاغذية والمستشفيات والبيوت. تفرض تهديدا وبائيا وصحيا.
2. ريفية – مصدرها المزارع وحضائر الحيوانات و الحقول ذات التسميد المكثف.
3. صناعية – مصدرها كل فروع التصنيع وهذا النوع مصدر رئيس للسموم.
4. المواد الفعالة اشعاعيا – مصدرها المنشآت الصحية والعلمية و المضاعلات النووية وهذا النوع من الفضلة ذو خطورة خاصة للبيئة و يتطلب طرائق خزن خاصة.

• عملية تطهير المجاري:

في عملية التطهير الطبيعية التي تتم في الأنهار والمحيطات تتحلل المادة العضوية الموجودة في المجاري بواسطة كائنات محللة دقيقة، وفي مياه المجاري عادة توجد كمية كبيرة نسبياً من المواد العضوية التي لا تستطيع الكائنات الدقيقة المحللة من تحليلها بنجاحة، ان عملية تطهير المجاري مشابهة لعملية التنقية الذاتية ، ولكن عملية تطهير المجاري أسرع لأنه يتم إضافة مراحل اصطناعية جديدة ناجحة جداً، من الجدير بالذكر ان 99.9% من مياه المجاري هو مياه، بينما 0.1% نفايات صلبة مختلفة، وهذه النفايات تحتوي على مركبات عضوية مثل البروتينات، ومنتج اليوريا وأيضا الكاربوهيدرات والزيوت والصابون، النفايات تحتوي أيضا على أملاح وأيونات، قسم من المواد العضوية والرقائق المتطايرة في مياه

المجري تميل للترسيب، وقسم منها رقائق دقيقة جداً ومواد مذابة في الماء مثل الأملاح لا تترسب، ولذلك يجب تطهير وتنظيف مياه المجري من الملوثات المختلفة.

ان الرقائق المتطايرة الكبيرة نسبياً، والتي يمكن ترسيبها يجب دمجها مع رقائق اكبر منها حتى يمكن ترسيبها أو تحليلها لغازات وفي هذه المرحلة 4 مراحل رئيسية هي :

1. علاج ما قبل التطهير، ويتم التخلص من النفايات الصلبة والثقيلة.
2. علاج أولي ويتم في هذه المرحلة فصل النفايات الصلبة التي يمكن أن تترسب في الماء.
3. مرحلة التطهير الثالثة ويتم فيها أكسدة المواد العضوية بواسطة كائنات دقيقة.
4. مرحلة الرابعة ويتم فيها أكسدة إضافية وهذا العلاج غالي جداً.

لماذا تخضع مياه المجري للتنقية؟

ازالة الملوثات من مياه الفضلة الصناعية والبلدية قبل ارجاعها الى الجسم المائي المستقبل لها نتائج عن الحاجة الى السياسة و الادارة المناسبة لمخزون المياه والشروط الصحية الكافية و حماية البيئة، وعلى العكس من ذلك فان ادخال المياه الملوثة الى البيئة المائية قد يؤدي الى انخفاض المعايير الفيزيائية والكيميائية والصحية، وقد يتسبب في احداث خلل في التوازن البيئي في ذلك المجتمع المائي.

ماهي الاهداف الرئيسة لعملية معالجة مياه الفضلة؟

1. خفض المحتوى العضوي الكاربوني الذي يشمل المركبات صعبة التكسير الحياتي فضلاً عن المواد السامة و المواد المسرطنة و المطفرة.
2. التقليل من تركيز المواد الحياتية (Biogenic) مثل الاملاح المعدنية والنتروجين و الفوسفور وبالتالي منع او تثبيط ظاهرة الازراء الغذائي.

3. طرد او تثبيط الاحياء المجهرية و الطفيليات الممرضة.

ما هي طرائق معالجة مياه الفضلة؟

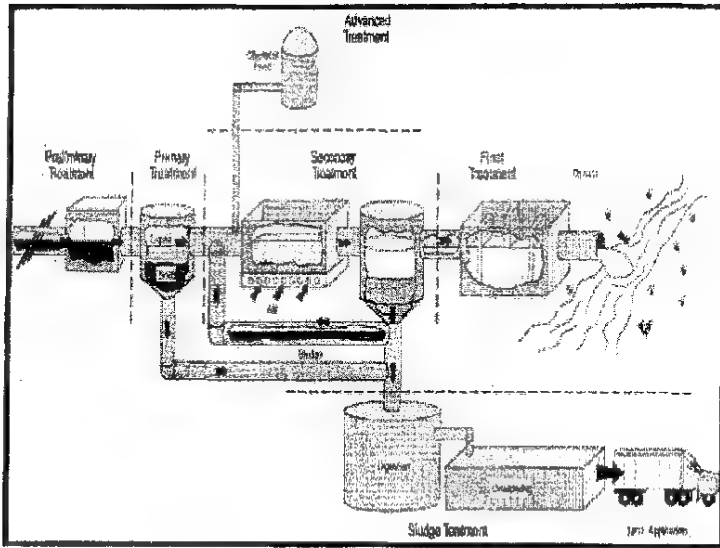
اعتمادا على نوع الملوثات تتفاير طرق المعالجة والتي تصنف الى الية و فيزيائية - كيميائية و كيميائية و حيائية:

1. الية (Mechanical): في هذا النوع من الطرائق تزال الملوثات غير الذائبة فقط مثل الهيدروكربونات باستخدام احدى الوسائل الاتية: النبد المركزي (Centrifugation) والجاذبية (Gravitational) والتطويف (Flotation) والترشيح (Filtration) والفصل (Separation) التي تسمح بازالة المواد العضوية والمعدنية فضلا عن الاجسام الطافية.
2. الفيزيائية - الكيميائية (Physical - chemical): وتتم باستخدام احدى العمليات الاتية التجلط (Coagulation) والترسيب المرافق (Co-Precipitation) والامتزاز (Sorption) والتبادل الايوني (Ion exchange) والتحليل الكهربائي (Electrolysis) والاوزومية العكسية (Reverse osmosis) والترشيح الفائق (Ultrafiltration).
3. الكيميائية (Chemical): وتجرى باستخدام الوسائل الاتية: التعادل (Neutralization) والاكسدة (Oxidation) والاختزال (Reduction).
4. الحياتية (Biological): وتتألف من تنقية المجاري (ازالة الملوثات العضوية والحياتية وغيرها) اثناء عمليات التعدين البايوكيميائية التي تجرى طبيعيا بوساطة الاحياء المجهرية في البيئة المائية.

ماهي المراحل النموذجية لمعالجة مياه المجاري؟

العملية النموذجية لمعالجة مياه المجاري تتألف من اربعة مراحل من التنقية انظر شكل رقم (16):

1. الية (Mechanical): تمثل المرحلة الاولى من التنقية.
2. حيائية (Biological): تمثل المرحلة الثانية من التنقية.
3. التخلص من المركبات المولدة للحياة (Biogenic compounds): تمثل المرحلة الثالثة من التنقية.
4. اعادة استعمال المياه وتجديدها (Renovation of water): تمثل المرحلة الرابعة من التنقية.



شكل (16): مخطط يوضح مراحل معالجة مياه الفضلة

• المرحلة الاولى (المعالجة الابتدائية Primary treatment):

وتسمى ايضا بالتنقية الالية او الميكانيكية كونها تتم بمساعدة الالات والمكائن، وهدفها ازالة الشوائب الصلبة وتعد هذه المرحلة عملية اعداد و تحضير مياه المجاري لتنقية اكثر، باستخدام العمليات الالية البسيطة فمن الممكن ان يتم التخلص من الشوائب الاتية:

- الشوائب الصلبة الطافية.
- العوالق المستقرة (Settling suspensions).
- الزيوت والدهون والشحوم.

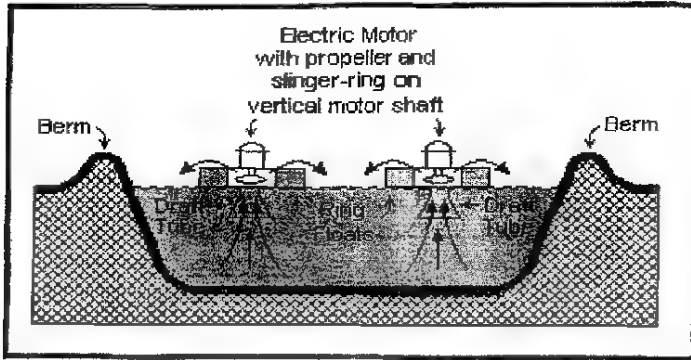
أحياناً، تضاف كبريتات الألمنيوم أو كبريتات الحديدوز أو غيرها لجمع الدقائق وبذلك تترسب أسرع.

• المرحلة الثانية (المعالجة الثانوية Secondary treatment):

وتشتمل على التنقية الحياتية التي تؤدي إلى التكسير الحياتي للشوائب العضوية الذائبة و الانظمة الغروية والعوالق التي لم يتم التخلص منها في المرحلة الاولى، وبذلك تؤدي الى خفض مستوى الطلب الحياتي للأكسجين (BOD)، وتستحصل عملية تكثيف التنقية باستخدام مرشحات النوشل (Trickling filters) والحماة المنشطة (Activated sludge).

الآليات التي بوساطتها تقوم مجتمعات الاحياء المجهرية بتثبيت مياه المجاري في اغلب محطات معالجة مياه الفضلة تدعى طريقة الحماة المنشطة (Activated sludge method). في هذه المعاملة تعمل مياه المجاري كمصادر غذائية لخليط من الاحياء المجهرية الهوائية المتكيفة للمعيشة فيه اذ تنمو على شكل تكتلات، وعلى الرغم من انها تتواجد هناك طبيعياً، يعتمد الى تلقیح اعداد كبيرة منها في الفضلة عن طريق ترك اجزاء صغيرة من الحماة المتبقية من الوجبة السابقة، يجهز الاوكسجين عن طريق خلط مياه المجاري بوساطة مزود الهواء (Aerator) (شكل 17)، معظم المواد العضوية القابلة للتحلل حياتياً (Biologically degradable organic materials) تتحول الى غازات او مركبات مؤكسدة، ونسبة صغيرة منها تدمج مع مكونات الخلية للاحياء المجهرية النامية في مياه المجاري، هذه العملية غالباً ما تكون الاكثر اقناعاً في معالجة مياه

المجاري و لكنها قد تكون غير فعالة تماما اذا تواجدت المخلفات الصناعية السامة التي تسمم المجتمعات المايكروبية.



شكل (17): مزود الهواء (Aerator)

بعد ان تستهلك البكتريا و الفطريات مغذيات معينة في معالجة مياه المجاري، تعمل هي ذاتها كغذاء للهدديات و الابدائيات و الاحياء الاخرى، وتكون المحصلة النهائية هي زيادة صغيرة في كتلة الاحياء المتواجدة في كمية معينة من مياه المجاري المعالجة، و انخفاض كبير في كمية المواد العضوية القابلة للتحلل الحيواني ثم ينقل الكتلة الحياتية الفائضة الى الهاضم (Digester) و تترك كمية صغيرة منها كلقاح للوجبة اللاحقة.

داخل الهاضم، تعمل الاحياء اللاهوائية على المواد الصلبة المتبقية في مياه المجاري بعد معاملتها هوائيا، يوفر الهاضم تحولا لاهوائيا للمادة العضوية الى مادة لاعضوية و يزيل الماء من الفضلة و بذلك تبقى فيه كمية قليلة من المواد الصلبة، تعمل مختلف المجتمعات المايكروبية بالتعاقب في الهاضم فتقوم الاحياء المولدة للميثان بدورها بتحويل الاحماض العضوية البسيطة في مياه المجاري الى نواتج نهائية مفيدة مثل الميثان، و الكثير من محطات معالجة مياه المجاري تجهز بمعدات

للاستفادة من الميثان الناتج كمصدر للطاقة وبذلك تتجنب الكلفة الاضافية لمصادر طاقة اخرى لتشغيل معداتها.

تستبعد البكتيريا الممرضة من مياه المجاري بصورة عامة اثناء المعالجة الثانوية و لكن تبقى الفايروسات الممرضة حية، تشكل الاحياء المجهرية الممرضة نسبة ضئيلة من مجموع الاحياء المتواجدة في البراز، وتخفف بشكل كبير في مياه المجاري خلال المعالجة الثانوية، تضطر هذه الكائنات الممرضة ان تتنافس للحصول على المغذيات مع الاعداد الهائلة للبكتيريا المتواجدة و المتكيفة للمعيشة عند الظروف البيئية الموقرة، وبالتالي فان معظم البكتيريا الممرضة سوف تقضى بسرعة من قبل المنافسين، الفايروسات الحيوانية فاقدة للخلايا المضيفة المناسبة وبالتالي لا تتمكن من التضاعف على الرغم من انها قد تبقى حية لمدة طويلة، اذا تواجدت كميات كبيرة من الفايروسات في مياه المجاري الخام فان قسما منها قد يبقى بعد المعالجة الثانوية على الرغم من مياه المجاري تكلور (Chlorinated) قبل ان ترمى الى الجسم المائي المستقبل، ان المعاملة بالكلور لا يثبط الفايروسات في هذه المرحلة نظرا لكون الفايروسات عادة تحاط بتجمعات صغيرة من المواد المتدفقة حيث تكون محمية من فعل الكلور، وبسبب ان الفايروسات تلتصق بالدقائق الكبيرة فيمكن ازالتها مع المواد الصلبة الاخرى.

• المرحلة الثالثة (المعالجة الثالثية Tertiary treatment):

تتضمن هذه المرحلة العمليات المستخدمة للتنظيف الدقيق لمياه المجاري، اذ تزال اهم الشوائب اثناء هذه العملية، وهي المركبات المولدة للحياة (مركبات الفوسفور والنيتروجين) اذ تبقى كميات كبيرة من النترات والفوسفات في مياه المجاري بعد المعالجة الثانوية التي قد تزيد من نمو الاحياء المجهرية مؤدية الى استنفاد الاوكسجين تدريجيا و لهذا فهي تشكل تهديدا للاحياء المائية الاخرى، ولهذا السبب تهدف هذه المرحلة من المعالجة الحد من هذه المشكلة.

تزال المركبات النتروجينية بواسطة عملية النترة الحياتية و الدنترة حيث تعمل بعض الاجناس البكتيرية مثل *Bacillus* و *Pseudomonas* باختزال النترات الى غاز النتروجين الخامل غير السام والذي تسهل ازالته.

بينما تزال المركبات الفوسفورية بواسطة عمليات الترسيب الكيميائية باضافة املاح الحديد (مثل كلوريد الحديدك) او املاح الالمنيوم (مثل الشب)، او من الممكن ازالة الفوسفور حياتيا بعملية تدعى ازالة الفوسفور المعززة حياتيا (Enhanced biological phosphorous removal)، حيث تضاف بكتريا معينة تسمى البكتريا الجامعة لعديد الفوسفات (Polyphosphate accumulating bacteria) وتقوم هذه البكتريا بتجميع كميات كبيرة من الفوسفور داخل خلاياها (تصل الى 20 ٪ من كتلتها) و عندما تفصل الكتلة الحياتية الغنية بهذه البكتريا من المياه المعالجة ستكون ذات قيمة سمادية عالية.

• المرحلة الرابعة من التنقية (اعادة استعمال و تجديد المياه):

تتضمن عمليات ازالة الملوثات المتبقية من المراحل السابقة، وتشمل مجموعة من الطرائق التي تنقل مواصفات المياه الطبيعية الى مياه المجاري لغرض استخدامها مرة اخرى من قبل المنشآت الصناعية، يتيح تجديد المياه (Regeneration) تدوير (Recycling) مياه المجاري الذي يمثل عنصرا مهما في عمليات توفير مصادر المياه خصوصا في المناطق الشحيحة بالمياه، هناك عدة أنظمة لتجديد المياه من البسيطة جدا التي تستخدم المرشحات السريعة او الضخ عبر مناخل دقيقة (Micro sieves) الى العمليات الفيزيائية - الكيميائية المعقدة جدا مثل التجلط والانظمة الغشائية والتطهير والترسيب و طرد الامونيا و اعادة الكربنة (Recarbonization) و الامتزاز و التبادل الايوني و نزع المعادن من المياه (Water demineralization).

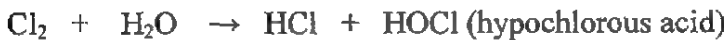
التطهير Disinfection:

التطهير عملية كيميائية الهدف منها السيطرة على الاحياء المجهرية الممرضة عن طريق قتلها او تثبيطها عند معالجة مياه الفضلة بصورة اساسية كي تصرف مرة اخرى الى البيئة، وتعتمد كفاءة التطهير على نوعية ومواصفات المياه المطلوب تطهيرها (العكارة والاس الهيدروجيني وغيرها) ونوعية المطهر المستخدم ومقدار جرعته (التركيز والمدة)، من الطرائق الشائعة للتطهير استخدام الازون والكلور والاشعة فوق البنفسجية في حين يستخدم الكلورامين في مياه الشرب ولا يستخدم في معالجة مياه الفضلة بسبب بقاءه وثباته.

تفضل عملية الكلورة (Chlorination) على غيرها من الطرائق بسبب انخفاض كلفتها و كفاءتها المثبتة منذ امد بعيد ،فقد انقذت مئات الالاف من ارواح البشر، و لكن هناك مثلبة واحدة وهي كلورة المواد العضوية المتبقية ممكن ان ينتج مركبات عضوية مكلورة قد تكون مسرطنة او مضره للبيئة.

الآلية عمل الكلور كمطهر:

يتفاعل الكلور او اي من مشتقاته مع الماء مكونا حامض الهايبوكلوروس (Hypochlorous acid) كما في المعادلة الاتية:



حامض الهايبوكلوروس مركب غير مستقر سرعان ما يتفكك مكونا الاوكسجين النري :



هذا الاوكسجين النري المتكون حديثا من العوامل المؤكسدة القوية اذ يؤكسد البروتينات ويمسخ (Denatures) انزيمات الخلية المهمة، في حين يعد تحطيم الخلايا المايكروبية بالتماس المباشر للكلور مع الغشاء الساييتوبلازمي ، فعلا ثانويا للكلورة.

يعرف كل من حامض الهايبوكلوروس (HOCl المتعادل كهربائياً) وايون الهايبوكلورايت (OCI سائب الشحنة) بالكلور الحر اللذان يسلكان سلوكاً مختلفاً تماماً، لا يكون حامض الهايبوكلوروس أكثر فاعلية من ايون الهايبوكلورايت فحسب ولكنه أقوى كمظهر وكعامل مؤكسد، تتحدد نسبة حامض الهايبوكلوروس الى ايون الهايبوكلورايت بواسطة الاس الهيدروجيني ففي الاس الهيدروجيني الحامضي يسود الاول بينما في الاس الهيدروجيني القاعدي يكون الثاني هو السائد، اي بمعنى آخر تتأثر عملية التطهير بالاس الهيدروجيني للمياه المطلوب معالجتها، تعمل البكتريا و الفايروسات اهدافاً سهلة للكلور ضمن مدى واسع من الاس الهيدروجيني لذا يعتمد العاملون في مجال تطهير مياه الفضلة الى تعديل الاس الهيدروجيني بما يتلائم والقضاء على طفيلي *Giardia* وذلك بتغليب حامض الهايبوكلوروس نظراً لكون هذا الطفيلي أكثر مقاومة للكلور من البكتريا و الفايروسات، وهناك سبب آخر لتفضيل سيادة حامض الهايبوكلوروس أثناء المعالجة لكون سطوح الاحياء المجهرية الممرضة مشحونة طبيعياً بشحنة سالبة لذا فهي تخترق بسهولة من قبل حامض الهايبوكلوروس المتعادل الشحنة بمعدل اكبر من ايون الهايبوكلورايت ذو الشحنة السالبة.

ولسوء الحظ ظهر الكثير من الاحياء المجهرية الممرضة المقاومة للكلور وغالباً ما تتواجد في المياه بعد عمليات المعالجة، وتكون من مختلف الاحياء المجهرية من بكتريا و فايروسات و ابتدائيات التي تسبب اخماجاً مختلفة في الكبد و الامعاء وغيرها.

من الممكن استخدام الاشعة فوق البنفسجية بدلاً عن الكلور او بقية المواد الكيميائية، تتسبب الاشعة فوق البنفسجية في احداث ضرر للمحتوى الوراثي للاحياء المجهرية وجعلها غير قادرة على التكاثر ولكن من مساوئ هذه الطريقة انها تحتاج الى صيانة دائمة لمصباح الاشعة واستبداله بين فترة واخرى، وكذلك يجب ان تكون المياه المراد تعقيمها خالية من الشوائب العالقة كي لا تحتمي بها

الاحياء المجهرية وبالتالي تكون بعيدة عن مرمى الاشعة، هذه الطريقة هي الاكثر شيوعا في المملكة المتحدة وكتدا .

التطهير بالاوزون؛

يتولد الاوزون من تسليط فرق جهد عال على الاوكسجين مما يؤدي الى التصاقها بعضها البعض بالبعض الاخر مكونا الاوزون (O_3) الذي يكون غير مستقرا بشكل كبير فيتمكك الى الاوكسجين الذري الذي يؤكسد معظم المواد العضوية التي تكون بتماس معه و بذلك يقتل الكثير من الاحياء المجهرية الممرضة.



يعد الاوزون اكثر امانا من الكلور نظرا لكونه يصنع عند الحاجة بخلاف الكلور الذي يجب ان يخزن بحزن شديد لسميته الشديدة، كما ان التعقيم بالاوزون يخلف نواتج تعقيم عرضية اقل من عملية الكلورة، و لكن تبقى الكلفة العالية للمعدات التي تصنع الاوزون فضلا عن المهارة العالية للعاملين، من اهم محددات و مساوئ استخدامه .

الطرائق الحياتية لمعالجة مياه الفضلة؛

في الطرائق الحياتية لمعالجة مياه المجاري تلعب مجاميع بكتريا Zooglea دورا فعالا، طرائق التنقية الحياتية لمياه المجاري تتكون من حث العمليات الانزيمية للاحياء المجهرية رمية التغذية التي تشمل الاكسدة الجزئية للمواد العضوية (مصادر الكربون) الموجودة في مياه المجاري، وكذلك تمثيلها الجزئي (Partial assimilation) بوساطة الاحياء المجهرية، نتيجة لهذه العمليات تحصل زيادة في كتلة خلايا الاحياء المجهرية الفعالة، تنتعش الاحياء المجهرية عندما تصل نسب ثلاثة عناصر مهمة الى $C:N:P = 100:10:1$.

تقسم عمليات التنقية الحياتية للتعقيم الى عمليات طبيعية واخرى صناعية، اعتمادا على مكان حدوث العملية المعنية سواء حدثت في الظروف الطبيعية او في تلك المحفزة عن قصد في معدات مصطنعة مصممة خصيصا.

من الممكن اجراء التنقية الحياتية عند الظروف الغنية بالاكسجين او الفقيرة به او بغيابه وهي عبارة عن عمليات اكسدة ومعدنة (Mineralization) للمواد العضوية من مياه المجاري باستخدام الاحياء المجهرية والاحياء الاخرى.

اثناء التنقية الحياتية تحصل الظواهر الاتية:

- تكسير المواد العضوية الى ثنائي اوكسيد الكربون والماء والامونيا (اعتمادا على الاس الهيدروجيني).
- النترة (اكسدة الامونيا بوساطة بكتريا Nitrosomonas الى النتريت ومن ثم الى النترات بوساطة بكتريا Nitrobacter).
- الدنترة (تحول النترات الى غاز النتروجين).

اولا: الطرائق الطبيعية:

وتشمل التنقية في التربة و ارواء الغابات او الحقول ومرشحات التربة.

• التنقية في التربة:

تتم هذه العملية بسقي حقل معين بمياه المجاري فالمواد المولدة للحياة المتواجدة في مياه المجاري تؤدي الى معدل زيادة في الحاصل تقدر بحوالي 20 ٪. بعد نشر مياه المجاري تنساب الى التربة وبذلك تمتز الشوائب على دقائق التربة.

قبل ادخال مياه المجاري الى التربة يجب ان تخضع الى تنقية الية (القشط وفخاخ الرمل واحواض التركيز الاولى) ثم تطهر، كما ان التربة المسقية تخضع لفحص محتواها من المعادن، سقي الحقول ممكن ان يتم فقط اثناء فترة الزراعة وكمية مياه المجاري المضافة يجب ان تتغير باختلاف الفصول.

بعد مدة ممتدة المركبات العضوية الممتزة والاحياء المجهرية تكون غشاء مجهريا (Microscopic film) حول دقائق التربة وتعمل طبقة سطح التربة وكأنها مرشح حياتي، الناتج النهائي لعملية المعالجة يحصل في هذه الطبقة ويعمل كسماد (Fertilizer) للتربة.

يمكن ان تنقى كمية محدودة من مياه المجاري بهذه الطريقة والا فان الحقل سوف يحمل بشكل مفرط بمياه المجاري وبالتالي فان العمليات اللاهوائية سوف تتحضر و سيرافقها تكوين مواد ضارة وروائح كريهة تؤدي بالنهاية الى وقف نمو النباتات.

ويجب ان تطهر هذه المياه من بيوض الديدان الخيطية قبل السقي بمياه المجاري وذلك لاسباب صحية.

اثناء عملية الترشيح بالترية تنقى مياه المجاري وتحمل الى الجسم المائي المستقبل لها بنظام صرف مائي.

مرشحات التربة:

تجرى عملية التنقية بمرشحات التربة (Soil filters) بنشر الفضلة على سطح التربة مما يؤدي الى تنقيتها حياتيا، غالبا تستغل الحقول غير القابلة للزراعة لاجراء هكذا عمليات تنقية، انتفاء الاستخدام الزراعي يتيح استهلاك اكبر كمية ممكنة من مياه المجاري وتعد الترب الرملية المفككة ذات الدقائق المعدنية التي تتراوح اقطارها من 0.2 - 0.5 ملليمتر و سمكها يتراوح من 1.5 - 2 متر وذات محتوى متدني من المياه الجوفية من افضل الترب المستخدمة للتنقية.

قبل صب مياه المجاري على سطح التربة، يجب ان تنظف اليا لاستبعاد الموائق الزيتية التي تعرقل مصير الصب، يتم صرف مياه الفضلة التي تم تنقيتها عن طريق نظام صرف مثبت على الارض.

• برك مياه الفضلة:

عبارة عن خزانات (Rservoirs) ارضية يحصل فيها تنقية حيائية طبيعية تلعب المايكروبات المستهلكة دورا فعالا فيها و لهذا فهي تستخدم في المدن الصغيرة، وتكون على نوعين برك طبيعية و اخرى خزانات ارضية صناعية.

تقوم البكتيريا باكسدة المواد العضوية و معدنتها اي تحويلها الى مركبات غير عضوية تعرف بالاملاح الحياتية (Biogenic salts).

مياه المجاري المنقاة بهذه الطريقة توجه الى برك طحلبية حيث تزدهر هناك و تقوم بتمثيل المركبات المعدنية التي تكونت اثناء عملية التكسير الحياتي.

المرحلة النهائية لهذه العملية تتم في البرك القشرية (ponds Crustacean) حيث تزدهر القشريات المتغذية على الطحالب، هكذا عمليات تنقية لا تتيج التخلص من المواد العضوية فقط بل من المواد المولدة للحياة الفائضة، والتي بتواجدها في الجسم المائي المستقبل لمياه المجاري المنقاة قد يسبب في ظاهرة الاثراء الغذائي و ازدهار المياه مما يخفض من مستوى الاوكسجين في تلك المياه؛ كما يمكن ان تستخدم هذه البرك في تغذية الاسماك و البط دون الحاجة الى التغذية الصناعية.

ثانيا: الطرائق الصناعية؛

• مرشحات الوشل Tricking filters:

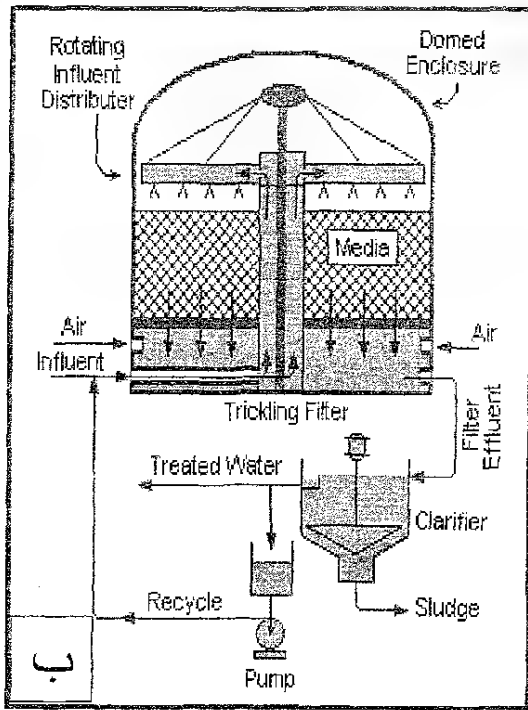
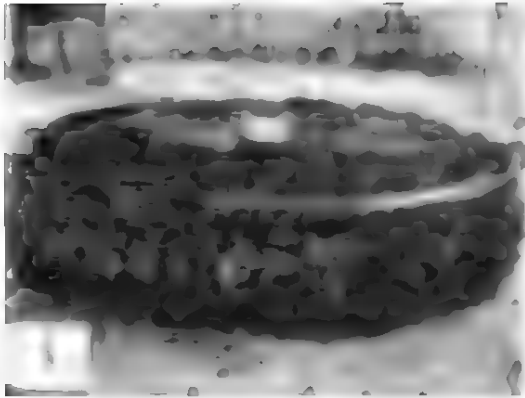
تجرى معالجة مياه المجاري بمرشحات الوشل (شكل 18) في خزانات تملأ بمادة حبيبية مفككة مثقبة (Porous) و يتم رش مياه المجاري على الطبقة العلوية من الفرشة و تترك لتتناسب خلال الفراغات الى الداخل.

يتكون غشاء حياتي مخاطي على محتويات الفرشة الذي يتألف من احياء مجهرية مختلفة مثل البكتريا والابتدائيات والفطريات، تخضع مياه المجاري اثناء جرياتها الى عمليات المعالجة بسبب التحلل الهوائي بواسطة الاحياء المجهرية.

يتضمن الغشاء الحيواني المتكون اساسا من بكتريا Zooglea المنتجة للمخاط (Mucous)، بمرور الوقت تركيبة الانواع للغشاء المخاطي يتغير بسبب تماقبها فالى جانب البكتريا تظهر الفطريات والابتدائيات و annelida ويرقات الذباب، اعتمادا على كمية مياه المجاري المعالجة تقسم مرشحات الوشل الى مرشحات تقطير (Percolating filters) ومرشحات الدفق (Flushing filters).

اعتمادا على كمية المواد العضوية المحملة فتوجد الانواع الاتية من المرشحات الحياتية:

1. التحميل القليل: قد تملأ بمواد طبيعية او صناعية، في مرشحات التقطير يتكون الغشاء بسرعة والعمليات الحياتية للتحلل غالبا ما تكون مكتملة. في الطور الاخير من التنقية تحصل عمليات نترتة مكثفة تؤدي الى زيادة في كمية النترات.
2. التحميل المتوسط: تملأ بمواد نصف طبيعية (طبيعية - مصنعة) و لضمان تركيز كاف من مياه المجاري المجهزة يتم اعادة تدوير جزء من مياه المجاري المنقاة بهذا النوع من المرشحات، يتم اختزال المركبات العضوية على هذه المرشحات يكون كافيا و عمليات النترتة تحصل جزئيا كما ان ادخال عمليات تنقية اضافية يكون غير ضروريا.



شكل (18): مرشحات الوشل (Trickling filters)

أ. في الموقع.

ب. رسم تخطيطي.

3. التحميل العالي: تملأ بمواد نصف طبيعية، في مرشحات الدفق تكون كثافة مياه المجاري كبيرة في حين يتألف الغشاء الحيائي بصورة كلية من البكتريا وبشكل اقل من الحالات السابقة، جريان مياه المجاري يغسل المواد الحياتية المستعملة والميتة من المرشحات، وتنتقل المواد المغسولة على هيئة ترسبات متكتلة، فقط المعدنة الجزئية للمواد العضوية تحدث على هذا النوع من المرشحات وتثبط عمليات النترة، كمية قليلة من النترات تخرج من المرشحات.

الحماة المنشطة Activated sludge

تعتمد عملية الحماة المنشطة على تنقية مياه المجاري بالتعليق الحر للمادة وتتكون من انتاج 50 – 100 مايكروميتر من التكتلات (Flocs) ذات المساحة السطحية العالية، وتتألف هذه التكتلات من نواة معدنية بنية اللون تحتوي على سطحها بكتريا مختلفة التغذية ضمن اغلفة مخاطية، تتطلب طريقة الحماة المنشطة كمية كافية من الاوكسجين لفرض الاكسدة الهوائية للملوثات العضوية.

• طرق متقدمة لمعالجة مشكلة التلوث بالعناصر الثقيلة:

تعمل الصناعة على تجهيز البيئة المائية بتراكيز عالية العناصر الثقيلة؛ وذلك لاستخدامها في العديد من الصناعات مثل؛ عمليات تكرير النفط الخام وانتاج الخصبات.

والعناصر الثقيلة هي تلك العناصر او اشباه الفلزات ذات الاستقرار العالية التي تمتلك كثافة اعلى من (4.5) غم/سم³ واعداد ذرية عالية تتراوح بين (22- 52)، وقد صنفت العناصر عموماً الى ثلاث مجموعات استناداً لعلاقتها بالكائنات الحية وهي:

الاولى: العناصر الاساسية (Essential elements) للكائنات الحية مثل:

المغنيسيوم، و الصوديوم، و البوتاسيوم، و الكالسيوم، و الفسفور، و النتروجين، و الكربون، و الهيدروجين، و الكلور.

الثانية: تشمل ايونات العناصر السامة وهي غير ضرورية (Non-)

essential elements للكائنات الحية وهي العناصر الثقيلة مثل: الرصاص، و الكادميوم، و الزئبق، و الزرنيخ.

الثالثة: العناصر النادرة (Trace elements) وتشمل الحديد، و المنغنيز،

و النحاس، و الخارصين، و اليود، و المنغنيز، و الكوبلت، و السيلينيوم، و الكروم التي يكون لها دور مهم للكائنات الحية ولكنها تظهر تأثيراً ساماً اذا وجدت بتركيز تفوق حاجة الكائن الحي.

تحتاج الكثير من الكائنات الحية مثل اللبائن الى بعض العناصر النادرة بتركيز ضئيلة جداً لاتمام التركيب الكيميائي للانزيمات او أية مواد حيائية اخرى، و من الامثلة على هذه العناصر: النحاس، و الحديد، و الخارصين، و اليود، و المنغنيز، و الكوبلت، و السيلينيوم، و الكروم.

لقد اثبت العديد من الدراسات الحديثة ان بعض العناصر تكون ضرورية لصحة الانسان، و ذلك من خلال مساعدتها في المعالجة او الوقاية من بعض الامراض، لكنها ممكن ان تكون سامة عندما تتركز بكميات عالية، اذ تصبح بعدها خطرة عن طريق تأثيرها في نمو الخلايا وعمل الجهاز الهضمي، وبصورة عامة فان العناصر الثقيلة جميعها تعد سامة اذا زاد تركيزها عن مستوى معين، وتظهر تأثيراتها في الكائن الحي تبعاً لنوع العنصر ونسبة هذه الزيادة.

يتحدد تأثير العناصر الثقيلة في الانزيمات إذ ان هذه العناصر لها كهروسالبية الكترونية عالية مثل النحاس والفضة والزئبق التي تكون لها الفة عالية للاحماض الامينية (amino acids) ومجموعة السلفا هيدريل (SH-)

والتي تعدّ مواقع التفاعل للأنزيمات، وتتمثل الآلية السمية القاتلة للعناصر الثقيلة بتحطيمها للسطوح التنفسية للكائن الحي عند تعرضه لتركيز عالي من تلك العناصر ولدة قصيرة، بينما في التعرض طويل الأمد فإن العناصر الثقيلة تتجمع في الأعضاء الداخلية للكائن الحي.

والعناصر الثقيلة ملوثات واسعة الانتشار ومن أكثرها ضرراً على البيئة لكونها ثابتة غير قابلة للتحلل، فضلاً عن قدرتها على التركيز الحياتي في انسجة الكائنات الحية، وانتقالها للإنسان عن طريق السلسلة الغذائية.

• الطرائق الفيزيائية - الكيميائية في إزالة العناصر الثقيلة:

صممت طرائق عديدة في إزالة العناصر الثقيلة من المخلفات الصناعية إلا أن هذه الطرائق الفيزيائية - الكيميائية تعد غير عملية تجارياً بسبب كلفتها العالية، وعدم كفاءتها في إزالة العناصر الثقيلة من هذه الطرائق:

- التناضح العكسي (Reverse Osmosis):

تستعمل بهذه الطريقة أغشية نصف نفاذة لإزالة المواد العضوية واللاعضوية المذابة في الماء. يصنع الغشاء الناضح من الياف خاصة لها قدرة فائقة على إزالة أنواع الملوثات جميعاً بما فيها مفرزات الأحياء المجهرية، لكن من أهم سلبياتها يكون تدفق المياه محدوداً لا يتلائم مع حجم الفضلة الصناعية.

- الترسيب (Precipitation):

تحدث هذه العمليات بإضافة كيميائيات مناسبة مثل: أملاح الحديد، والشب، والكلس وبوليمرات عضوية أخرى، وهذه العملية تنتج كميات كبيرة من الحمأة (sludge) الحاوية على مركبات سامة فضلاً عن صعوبة استرجاع العنصر من الحمأة الناتجة.

- التبادل الأيوني (Ion exchange):

عبارة عن بوليمرات راتنجية حيث تتبادل ايونات العناصر الثقيلة الموجودة في المحلول مع الايونات الموجودة على سطح الراتنج اوالمبادل الايوني، وهذه الطريقة غير قادرة في معظم الاحيان على ازالة المركبات العضوية وتكلفة العمل تكون عالية على المدى الطويل، فضلاً عن ذلك فإن الراتنجات تكون حساسة اذ تتأثر بوجود كيميائيات اخرى مثل: المغنيسيوم والكالسيوم في المحاليل وكذلك تكون عرضة للإنسداد بمواد مترسبة وعضوية.

- الامصاص (Adsorption):

ويتضمن امتصاص المواد الذائبة في المياه على سطح صلب، وغالباً ما يستخدم الكربون المنشط الذي له القدرة على ازالة المركبات العضوية الذائبة بشكل فعال، ويمكن استخدامه لفترة طويلة لكن من سلبياته توليد جزيئات الكربون الدقيقة في الماء تضعف قابلية الكربون بعد مدة من الاستعمال مما يستوجب اجراء معاملة خاصة لاستعادة نشاطه.

- الخلايا الكهروكيميائية (Electrochemical cells):

تتكون الخلية البسيطة من قطبين، احدهما موجب (Anode)، وآخرهما سالب (Cathode)، يكون القطبان دائماً في حالة فرق جهد دائم وتنجذب ايونات العناصر الثقيلة الموجبة نحو القطب السالب اذ تختزل الى الحالة التأكسدية الصفيرية وتتحول الى الحالة الصلبة، ويترسب على الالكترود ويجمع بعد ذلك.

ان أهم مساوئ هذه الطرائق بشكل عام:

1. كلفة عالية.
2. لا تزال العناصر الثقيلة بشكل تام.

3. إنتقالية واطنة.
4. استهلاك طاقة بشكل كبير.
5. تحرر او تكون طين رقيق القوام وتكون إزالته صعبة.

ونتيجة لمساوى العمليات الفيزيائية - الكيميائية كان لابد من وجود طرائق أخرى لإزالة العناصر الثقيلة باستخدام الاحياء المجهرية لقابليتها الكامنة في حماية البيئة وإزالة العناصر الثقيلة السامة.

• دور الاحياء المجهرية في إزالة العناصر الثقيلة:

تواجه الاحياء المجهرية أنواعاً مختلفة من العناصر في بيئتها الطبيعية التي تعيش فيها، لذلك فهي أما تستفيد منها او تتخلص من ضررها.

أظهرت الدراسات مؤخراً أن هناك أنواعاً من الاحياء المجهرية، مثل بعض أنواع من البكتريا، والطحالب، والقطريات لها القابلية على الارتباط بأيونات العناصر الثقيلة المتوافرة في البيئة الخارجية بالنسبة لسطح الخلية او تجميعها داخل الخلية؛ لذلك من الممكن استعمال مثل هذه الاحياء في إزالة بعض ايونات العناصر الثقيلة السامة من الماء، إن قدرة الاحياء المجهرية على إزالة العناصر الثقيلة من المحاليل تشمل كل من الخلايا الحية والميتة وتتلخص في عدة اليات:

1. الترسيب/ التجمع خارج خلوي.
2. الامتزاز او تكوين معقدات على سطح الخلية (الكائنات الحية والميتة).
3. التجمع داخل خلوي (الكائنات الحية فقط).

محاسن الطرائق البيولوجية:

1. إقتصادية (كلفة تشغيل واطنة).
2. قدرة عالية في إزالة كميات كبيرة من العناصر الثقيلة.

لذلك توجهت الانظار في السنوات الاخيرة الى استخدام الكائنات الحية في إزالة العناصر الثقيلة، وهذا ما يعرف بالامتزاز الحياتي (Biosorption) التي تمتاز بقدرة وانتقائية عاليتين مقارنة مع العمليات الفيزيائية - الكيميائية.

الامتزاز الحياتي Biosorption :

الامتزاز (Sorption): عملية فيزيائية - كيميائية مهمة تؤثر بشكل كبير في حركة ومصير الايونات في التربة والماء، يحدث الامتزاز الحياتي نتيجة التفاعل بين أيونات العنصر والمجاميع الفعالة في الجدار الخلوي للأحياء المجهرية الحية والميتة.

ان الامتزاز الحياتي هو إحدى العمليات التي تعتمد بالاساس على السعة والقابلية العالية لأنواع مختلفة من الاحياء المجهرية على الارتباط مع العناصر الثقيلة، ويمكن استخدام انواع مختلفة من الاحياء المجهرية مثل الطحالب، و الفطريات، والبكتريا لإجراء عملية الامتزاز حيث اظهرت الفطريات قدرة عالية في الامتزاز مثل استخدام الفطر *Mucor rouxii* في امتزاز الرصاص والكاديوم والنيكل والخرصين.

استعملت الطحالب البحرية البنية مثل *Sargassum sp.* في امتزاز الكروم الثلاثي وامتزاز النحاس ايضاً، والطحالب الخضراء مثل *Chlorella* في امتزاز انواع مختلفة من العناصر الثقيلة.

كذلك استعملت مازات جديدة مثل اعضاء حيوانات كاجزاء من قشرة ابو الجنيب، وبعض النباتات مثل *Salvinia sp.* في إزالة العناصر الثقيلة من المياه الملوثة، بعض المازات تستطيع جمع وإزالة مدى واسع من العناصر الثقيلة بينما بعضها الآخر تكون متخصصة في إزالة انواع معينة من العناصر.

تعد البكتريا من المازات الحياتية الممتازة وذلك لأنها تمتلك مساحة سطحية كبيرة قياساً بالحجم والمحتوى العالي من المواقع الكيميائية الفعالة في الجدران الخلوية مثل أحماض التكويك (Teichoic acids)، فضلاً عن سرعة النمو لصغر حجمها وقابليتها على النمو تحت ظروف مسيطر عليها، بوسهولة التكيف في مدى واسع من الظروف ومرونتها العالية، ومن أمثلتها استخدام بكتريا *Thiobacillus ferrooxidans* في إزالة النحاس.

إن اختيار نوع الكتلة الحياتية في امتزاز العنصر عامل رئيس ومهم يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار بحيث يجب أن تكون موجودة في الفضلة الصناعية وبكميات كبيرة في الطبيعة و تتكاثر بصورة سريعة، يحدث الامتزاز بسبب اللفة العالية للمازات الحياتية في جذب العناصر الثقيلة، وذلك لامتلاك الجدران الخلوية لهذه المازات مجاميع كيميائية مشحونة تعد مواقع فعالة لإرتباط أيونات العناصر بها مثل: مجاميع الكربوكسيل، والامين، والهيدروكسيل، والاميدات، والفوسفات، والسلفاهيدريل، و أمأيدوزول، وفوسفات ثنائية الاستر، والثايواستر، والكبريتات، والكربونيل، وأن أهمية هذه المواقع الموجودة في المادة المازة تعتمد على عدة عوامل منها: قابلية المواقع الفعالة، والحالة الكيميائية للموقع، واللفة بين الموقع والعنصر (قوة الارتباط).

• التراكم الحياتي Bioaccumulation

انتقال العناصر عبر الغشاء الخلوي داخل الخلية (أخذ فعال) الذي يعتمد على ايض الخلية ويحدث في الخلايا الحية، وهي تفاعلات بطيئة وغير عكسية على الرغم من عدم فهم الية نقل العناصر الثقيلة الى داخل الخلية بصورة تامة، يبدو أن الآلية نفسها تستخدمها الكائنات المجهرية لتركيز العناصر الثقيلة الضرورية مثل: الصوديوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، ومن المحتمل أن عملية النقل غير قادرة على التمييز بين الأيونات الضرورية بوصفها مغذيات وإيونات العناصر الثقيلة السامة ذات الجذور النرية والشحنة المشابهة لها.

تعد عملية الامتزاز الحياتي اكثر تطبيقاً من التراكم الحياتي ؛ وذلك لكون النظام الحي (التراكم الحياتي) يتطلب اضافة مغذيات باستمرار؛ زيادة في المتطلب البايولوجي للاوكسجين (BOD) أو زيادة في المتطلب الكيميائي للاوكسجين (COD)، هذا فضلاً عن صعوبة المحافظة على حيوية الخلايا المايكروبية بسبب سمية العناصر الثقيلة، وتوافر عوامل بيئية غير ملائمة، زيادة على ان نواتج الايض ممكن ان تكون معقدات مع العناصر وتعيدها الى المحلول مرة اخرى.

• الجدار الخلوي ودوره في الامتزاز الحياتي:

تعود قابلية الخلايا البكتيرية للارتباط بالعناصر الى الخصائص الاساسية للغلاف الخلوي (cell envelope) وهو الطبقة الخارجية التي تفصل بروتوبلاست الخلية عن الوسط المائي، وهو لا يعمل فقط كحاجز فيزيائي أو كيميائي وإنما يحافظ على الشكل الخلوي ويشارك في النمو والانقسام وانتشار المواد الغذائية والفضلات.

هنالك انواع مختلفة من التراكيب تكون الغلاف الخلوي وأكثرها اهمية هو الجدار الخلوي ومن ثم تأتي المحفظة (Capsule)، وطبقة S (S- Layer) والغمد (Sheath) ويشكل الجدار الخلوي احد التراكيب الاساسية المهمة في الخلايا الحية فالمواد الداخلة والخارجة من الخلية تمر من خلاله، وهو مسؤول مسؤولية مباشرة عن الشكل والصلابة وحماية الخلية من الضغط الاوزموزي.

فضلاً عن إدائه دوراً مهماً في الانقسام الخلوي وكذلك في اخذ الايونات من البيئة الخارجية حيث تشارك المجاميع الفعالة الموجودة في الجدران الخلوية في ارتباط العناصر بها خلال عملية الامتزاز.

يمكن ان تقسم البكتيريا اعتماداً على استجابة الغلاف الخلوي للملون غرام على نوعين: غلاف موجب للملون غرام وغلاف سالب للملون غرام:

- غلاف البكتيريا الموجبة للون غرام Gram positive cell envelope

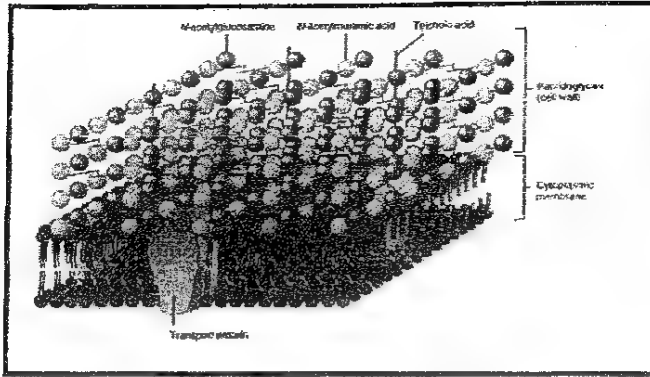
يتألف الغلاف الخلوي للبكتيريا الموجبة للون غرام الموضح في شكل (19) بصورة رئيسة من الغشاء البلازمي وطبقة الببتيدوكلايكان (Peptidoglycan) وهي مكونة من ثلاثة أجزاء:

الاول: بوليمر مكون من جزيئة مزدوجة من ن - أستيل كلوكوز أمين (N- acetyl glucoseamine) ون - أستيل حامض الميوراميك (N- acetyl muramic acid)، مرتبطة بأصرة من نوع $\beta(1,4)$ ، والببتيدوكلايكان متعدد الطبقات يتراوح سمكه من (20 - 40) طبقه.

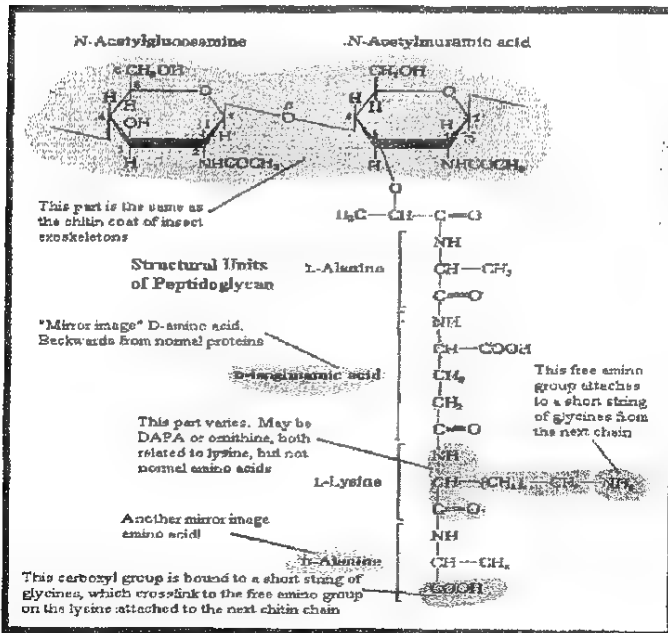
الثاني: سلسلة قصيرة من السيقان الببتيدية (Peptide stems) تتألف من (4 - 5) أحماض أمينية تختلف باختلاف المجاميع البكتيرية ترتبط بحامض الميوراميك بأصرة تساهمية.

الثالث: جسور عرضية (Cross bridges) تربط سلاسل الببتيد مع بعضها والحامض الأميني الثالث هو الذي يرتبط مع الجسر المستعرض، وتعد الجسور المستعرضة الصفة المميزة للبكتيريا الموجبة لصبغة غرام كما هو موضح في شكل (20).

تأخذ طبقة الببتيدوكلايكان دوراً رئيساً في عملية الامتزاز خصوصاً مجاميع الأمين والكاربوكسيل الموجودة في سلسلة الببتيد والتي تشحن الجدار بشحنة سالبة، فضلاً عن الحجيرات أو الفراغات ما بين الجزيئات (Intramolecular spaces) المتكونة بواسطة الجسور العرضية، وكذلك البوليمرات الثانوية مثل أحماض التكويسك والتيكورونيك (teichuronic acids) التي ترتبط بالجدار الخلوي لها دور مهم في عملية الامتزاز.



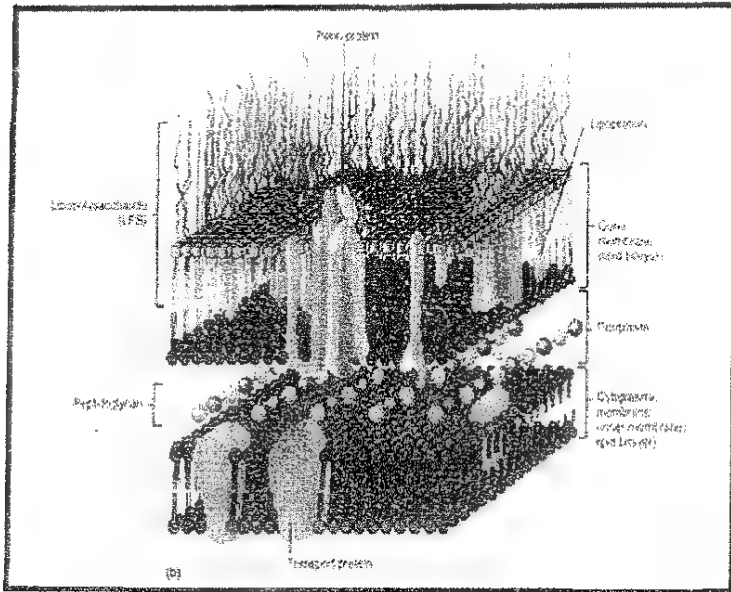
شكل (19) الغلاف الخلوي للبكتيريا الموجبة للون غرام (Nester,2001)



شكل (20) تركيب الببتيدوكلايكان (Corcoran , 2002)

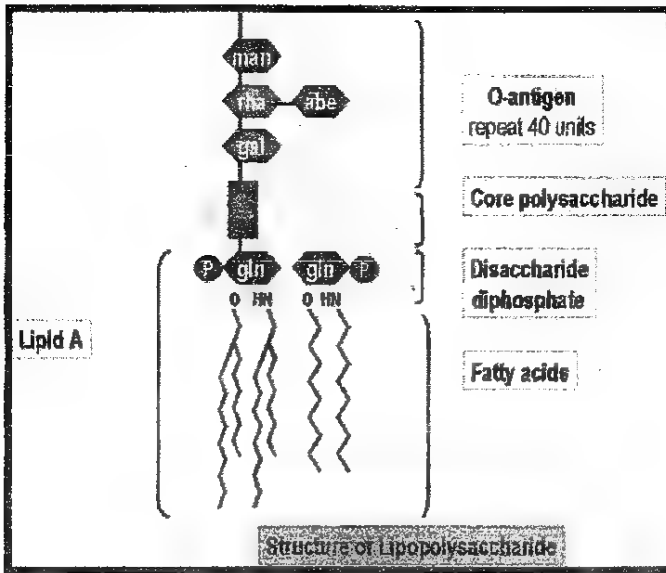
• غلاف البكتريا السالبة لصبغة غرام Gram negative cell envelope

جدار البكتريا السالبة للون غرام عديد الطبقات يكون أكثر تعقيداً كيميائياً وتركيبياً من جدار البكتريا الموجبة لصبغة غرام كما هو موضح في شكل (21)، ويتكون الجدار الخلوي من الداخل نحو الخارج من غشاء بلازمي (Plasma membrane) داخلي ثنائي الطبقات، الى الخارج منه طبقة او طبقتان من الببتيدوكلايكان بينهما الفراغ المحيط بالبلازم (Periplasmic space) يظهر تحت المجهر الالكتروني على شكل منطقة نصف شفافة، وأخيراً طبقة خارجية هي الغشاء الخارجي (Outer membrane) ترتبط به طبقة الببتيدوكلايكان بأصرة تساهمية بوساطة البروتين الدهني (Lipoprotein)، والغشاء الخارجي تركيب ثنائي الطبقة يحتوي على عديد السكريد الشحمي (Lipopolysaccharide) فضلا عن انواع اخرى من البروتينات مغمورة في الغشاء مثل البورينات (Porins) التي تعمل قناة لانتشار المحاليل المائية خلال الغشاء الخارجي.



شكل (21) الغلاف الخلوي للبكتيريا السالبة للون غرام (Nester,2001)

تمتلك طبقة (LPS) مناطق غنية بمجاميع الكربوكسيل والفوسفات التي تأخذ دوراً مهماً في عملية الامتزاز فتشحن الجدار بشحنة سالبة ومن ثم تساهم في اخذ الايونات من البيئة الخارجية، فقد وجد أن مجاميع الفوسفات الموجودة في طبقة (LPS) هي مواقع الارتباط الرئيسية التي ترتبط بها العناصر فضلاً عن مجاميع الكربوكسيل (انظر شكل رقم 22).



شكل (22) تركيب عديد السكريد الشحمي LPS (Fox, 2006)

آليات الامتزاز الحياتي Mechanism of Biosorption

على الرغم من ان العديد من الدراسات نشرت حول موضوع قابلية الكائنات المجهرية لامتزاز انواع مختلفة من ايونات العناصر الثقيلة الا ان تفسير الية حدوث هذه العملية تكون محدودة، ولا توجد معرفة تامة بكيفية حدوث العملية بصورة واضحة، ويمكن تصنيف الالات على وفق ما يأتي:

اولاً، التصنيف حسب الفعاليات الأيضية للخلية، ويمكن ان يقسم الامتزاز الى:

- معتمد على الفعاليات الأيضية.
- غير معتمد على الفعاليات الأيضية.

ثانياً: الإزالة حسب الموقع من الخلية:

- أ. التجميع خارج خلوي / ترسيب.
- ب. امتزاز على سطوح الخلايا.
- ج. ترسيب داخل خلوي / تجميع.

هناك عدة آليات لحدوث الامتزاز تعتمد على التداخلات الفيزيائية والكيميائية بين مواقع الربط للجدار الخلوي وايونات العناصر الممتزة التي من المهم فهمها من أجل الحصول على نتائج أفضل في إزالة العناصر الثقيلة، من هذه الآليات:

• نظرية التئوي (Nucleation theory):

إن آلية ربط العناصر بالجدران الخلوية تبدو على الأقل أنها تحصل خلال خطوتين هما:

الاولى: الاتحاد العنصري Stoichiometric interaction مع المجاميع الكيميائية في الجدار الخلوي.

الثانية: الترسيب اللاعضوي لكميات أخرى من العناصر.

- الجذب الكهربائي المستقر (Electrostatic attraction):

يحصل جذب كهربائي بين ايونات العناصر الموجبة في المحلول والمجاميع الفعالة ذات الشحنة السالبة لجدار الخلية المايكروبية فيحصل ارتباط وتنظيم لمستوى الايونات وإفترض ان امتزاز اليورانيوم، والكادميوم، والبارصين، والنحاس، والكوبلت بواسطة الكتلة الحياتية الحية والميتة للطحالب، والفطريات يحدث نتيجة الجذب الكهربائي المستقر.

- تكوين المعقدات على سطح الخلية (Surface complexation):

يعتمد تكوين المعقدات على فكرة شحنة سطح الخلية التي لها القابلية على التفاعل مع الايونات الموجبة والسالبة لتكوين معقدات على السطح، واعتمادا على آلية تكوين المعقدات هناك ثلاث خطوات تشارك في عملية الامتزاز هي تآين السطح، وحصول التعقيد بين الموقع المتآين و ايونات العناصر واخيرا تكوين طبقة مشحونة كهربائياً تعمل على تكوين سلسلة تربط ايونات اخرى.

ان بعض الخلايا لها القابلية على انتاج حوامض عضوية مثل: (الستريك، واوكزاليك، وكلونيك، وفيومارك، ولاكتيك، وماليك) تعمل على الاندغام (chelat) بايونات العناصر مكونة بذلك معقدات تتراكم على سطح الخلية.

- لترسيب (Precipitation):

يمكن ان يحدث ترسيب العناصر الثقيلة مباشرة على سطح الخلية أو في المحلول، يعتمد الترسيب في بعض الاحيان على الفعاليات الايضية الخلوية فوجود العناصر السامة تنتج الاحياء المجهرية مركبات لها القابلية على ترسيب العناصر على سطح الخلية، ويمكن ان لا يعتمد الترسيب على الفعاليات الايضية الخلوية اذا حدث نتيجة التفاعل الكيميائي بين العناصر والمجاميع الفعالة على سطح الخلية، مثلاً بكتريا Desulfovibrio تستطيع ان تختزل الكبريتات الى كبريتيدات ومن ثم لها القابلية على ترسيب العنصر بشكل كبريتيدات العنصر.

- التبادل الايوني (Ion exchange):

يحصل تبادل أيوني بين ايونات العناصر الثقيلة ثنائية التكافؤ و الايونات الموجودة للمواقع الفعالة في الجدار الخلوي للاحياء المجهرية، إن امتزاز العناصر بواسطة الطحالب يحدث نتيجة التبادل الايوني، فمثلاً امتزاز النحاس والخرصين

والكادميوم بواسطة *Sargassum fluitans* حصل نتيجة التبادل الأيوني مع أيونات الكالسيوم التي تتحرر إلى المحلول.

• امتزاز الأيونات السالبة (Anionic ions biosorption):

إن ماء الفضلة الصناعية لصناعات مختلفة مثل التعدين والطلاء الكهربائي يحتوي على عناصر ثقيلة سامة وغالباً ما تكون على شكل معقدات سالبة مثل: الكرومات والفضاديت والسيلينات وسيانيد الذهب، ولا توجد الكثير من الدراسات حول آلية امتزاز الأيونات السالبة إلا أن مثل هذه الأيونات تكون فعالة في الارتباط بأنواع من الكتل الحياتية الحاوية على مجاميع الأمين.

يزداد امتزاز الأيونات السالبة بانخفاض الدالة الحامضية وهذا يعود إلى إزداد ارتباط البروتونات بالمواقع الفعالة.

وضعت آيتان تفسران ارتباط الأيونات السالبة مثل السليكا (SiO_3) بالجدار الخلوي لبكتريا *Bacillus subtilis*، إذ أن الآلية الأولى تتضمن أيضاً خطوتي الاتحاد بالمواقع الفعالة (هنا تماثل مجاميع الأمين الموجبة الشحنة) وتكوين مواقع التنوي، أما الآلية الأخرى فتفسر امتزاز الأيونات السالبة بالكيفية الآتية:

تكون الأيونات الموجبة من طريق ارتباطها بالمواقع الفعالة السالبة في الجدار الخلوي معقدات تصبح جسوراً تربط الأيونات السالبة، فالجدران المحملة بالحديد والألمنيوم تقوم بامتزاز أيونات السليكات أكثر من الجدران الخالية من هذه العناصر.

• العوامل المؤثرة في الامتزاز الحياتي:

تتباين الانواع المايكروبية في قابليتها على ازالة العناصر الثقيلة ويعود ذلك الى عدة عوامل تؤثر في الامتزاز الحياتي منها:

- الدالة الحامضية (pH):

أكدت العديد من الدراسات حول أهمية تأثير الدالة الحامضية في الامتزاز الحياتي للعناصر الثقيلة لمختلف الاحياء المجهرية، تؤثر الدالة الحامضية في الشحنة السالبة في سطح الخلايا المازة وكيميائية الجدران وكذلك الحالة الفيزيوكيميائية والتحلل المائي للعنصر.

في الظروف الحامضية العالية $pH < 3$ تتنافس البروتونات مع ايونات العناصر الثقيلة على مواقع الارتباط في الجدران الخلوية، اما عند الظروف القاعدية تتأثر ذائبية ايونات العناصر المعدنية مما يؤدي الى ترسيبها في المحاليل المائية، وبذلك يقل الامتزاز الحياتي.

- درجة الحرارة:

تجري أغلب التجارب بمعدل يتراوح بين (4 - 55) درجة مئوية حيث تزداد الايونات الممتزة كلما ازدادت درجات الحرارة، وفي هذا الخصوص تشير بعض الدراسات الى ان درجة الحرارة تبدو انها غير مؤثرة في الامتزاز في المدى بين (20 - 35) درجة مئوية، ولا يوجد فرق معنوي في امتزاز العناصر عند درجات الحرارة الآتية (30,40,50) درجة مئوية.

- مدة التماس:

ان سرعة حدوث الامتزاز تعتمد بالاساس على المجاميع الرابطة الفعالة ونشاطها في امتزاز ايونات العناصر من المحاليل المائية، وان عملية امتزاز الايونات تتم بسرعة فائقة، وان معظم الايونات تمتز على الجدار الخلوي للمازات الحياتية خلال الدقائق الاولى من وقت التماس.

- الحالة الفسلجية للكائن المجهرى:

الحالة الفسلجية للكتلة الحياتية المايكروبية تؤثر بصورة كبيرة في كمية تمثيل العنصر خلال عملية الامتزاز فيظهر ان العلاقة عكسية بين تمثيل العنصر داخل الكائن المجهرى وتحمل الكائن لذلك العنصر! بمعنى ان الكائن المجهرى الاكثر تحملا للعنصر يتجمع فيه ايونات عناصر ثقيلة اقل، ووجد ايضا ان لعمر الكتلة الحياتية المايكروبية المستخدمة تأثير في كمية الايونات الممتزة حيث تزداد بزيادة عمر الكتلة الحياتية، فقد ازداد امتزاز الرصاص عند استخدام الكتلة الحياتية لطحلب Spirulina بعمر (72) ساعة.

يفضل استخدام الخلايا البكتريا الميتة على الخلايا الحية وذلك لامكانية الاحتفاظ بالخلايا لمدة زمنية اطول عند درجات حرارة الغرفة، ولاتاثر بسمية العناصر ولا تحتاج الى مواد مغذية مساندة، ويمكن استرجاع العناصر الممتزة بسهولة واستخدام الخلايا مرة اخرى.

- تركيز الكتلة الحياتية:

ان تركيز الكتلة الحية يؤثر في امتزاز ايونات العناصر ففى التراكيز الواثئة للكتلة الحية تحدث زيادة في اخذ الايونات، اما التراكيز العالية للكتلة الحية فتؤدي الى حدوث تداخل بين مواقع الارتباط وارتباط الخلايا مع بعضها، ومن ثم تقل المساحة السطحية للخلايا التي تتعرض للمحلول، وهذا يؤدي الى قلة الامتزاز.

• العوامل الداخلية التي تؤثر في كفاية الامتزاز:

اولاً: العوامل المتعلقة بالخلية البكتيرية:

ان شحنة سطح الخلية للأنواع البكتيرية المختلفة تتفاير تبعاً لعمر وطبيعة وتركيب الوسط الذي تنمى فيه البكتريا، وهناك عوامل تساهم في تغيير الشحنة الكلية لسطح الخلية البكتيرية وتتمتع سطح البكتريا خواصاً جوهرية تختلف عن تلك المتوقعة للبكتريا تعتمد على مكونات الغلاف الخلوي ومن هذه العوامل:

1. تبادل الشحنات بين المجاميع المكونة للجزيئات اذ يحدث ذلك عن طريقين: الاول، حصول التناظر بين شحنات الجزيئات له الدور الاكبر في تكييف، أو تعديل أو تنسيق الشحنات، مثل حامض التكويك وعديد السكريد للمحافظة مثل محفظة حامض الهيالورونيك للعقديات (Streptococcal hyaluronic acid capsule)، والثاني هو تعادل الشحنات بين الجزيئات وهو محتمل الحدوث ايضاً، مثل الشحنة الموجبة لمجاميع الامين للحامض الاميني الالانين (alanine) في حامض التكويك من الممكن ان تعادل الشحنة السالبة لمجاميع الفوسفات للجزيئة نفسها، اكثر من ذلك يمكن ان تتفاعل المكونات المعزولة بعضها مع بعض (مجاميع الفوسفات لحامض التكويك تتفاعل مباشرة مع مجاميع الامين في البروتينات والبيتيدوكلايكان في الجدار).
2. اختلافات جوهرية لشحنة الخلية ممكن ان تحدث نتيجة وجود لواحق متصلة بالخلية مثل: الاسواط، والليفيات، والاهداب.

ثانياً: عوامل متعلقة بالمعصر الثقيل:

ايونات العناصر الثقيلة تختلف في قابلية ارتباطها بالمواقع الفعالة فالاشكال الايونية للمعصر نفسه لها مواقع ارتباط مختلفة وتؤثر كل من الشحنة الايونية وانصاف الاقطار وحجم الايون في الامتزاز ايضاً.

• نظام متعدد الايونات (Multi-ions system):

تكون مياه الفضلة الصناعية المطروحة حاوية في اغلب الاحيان على ايونات لأكثر من عنصر واحد من العناصر الثقيلة ونادراً ما تكون محتوية على ايونات لعنصر واحد فقط.

ان تقويم وتفسير نتائج الامتزاز لعنصرين موجودين في محلول واحد يكون بالغ الصعوبة، وكذلك فإن النتائج المستحصلة من نظام مفرد الايون لا يمكن اعتمادها للتنبؤ بنتائج وسلوك الايونات الممتازة في نظام متعدد الايونات.

وعلى الرغم من أهمية الموضوع إلا أنه لا توجد دراسات وافية عن الامتزاز الحياتي لخليط العناصر المختلفة والموجودة مع بعضها في المحاليل المائية.

فإزالة نوع واحد من العناصر ممكن ان يتأثر او لا يتأثر بوجود عناصر أخرى، فمثلاً إزالة اليورانيوم بوساطة البكتريا، و الفطريات، والخمائر لا تتأثر بوجود المغنيسيوم، و الكوبلت، و النحاس، والكادميوم، والزنابق، والرصاص في المحاليل، اما امتزاز الكوبلت بوساطة انواع مختلفة من الاحياء المجهرية يثبط تماماً بوجود اليورانيوم، والرصاص، والزنابق، والنحاس، على العكس فإن وجود ايونات الخارصين والحديد يؤثر في اخذ اليورانيوم بوساطة *Rhizopus arrhizus*.

في دراسة لامتزاز العناصر النتروجين و الكالسيوم و المنغنيز و النيكل و السترونتيوم و الخارصين و المغنيسيوم بوساطة *Bacillus subtilis* وجد ان هذه العناصر جميعها لها مواقع الارتباط نفسها في الجدار الخلوي؛ وهذا يؤدي الى حدوث تنافس مباشر على الموقع الرابط عند وجود عنصرين او اكثر فلا تحدث تداخلات بين انواع العناصر الممتازة الا في حالة التنافس على موقع الارتباط نفسه، ومن ثم فإن كمية العناصر الممتازة تقل عند وجودها معاً قياساً بالكمية الممتازة لعنصر موجود بمفرده نتيجة تنافس أيونات العناصر على مواقع الارتباط نفسها.

وعلى العموم فقد قسم تنغ وجماعته تأثير مزيج العناصر في نظام الامتزاز الحياتي على ثلاثة أقسام:

1. يكون تأثير المزيج اكبر من تأثير كل عنصر لوحده (تآزري synergism).
2. يكون تأثير المزيج اصغر من تأثير كل عنصر لوحده (تضادي antagonism).
3. يكون تأثير المزيج مساوي لتأثير كل عنصر لوحده (غير تنافسي noncompetitive).

• طرائق الامتزاز:

يمكن انجاز عملية الامتزاز باحدى الطرائق الاتية:

1. نظام الدفعة الواحدة Batch System.

بهذه الطريقة يمكن استخدام الخلايا المايكروبية الحرة سواء اكانت حية ام ميتة ام بعض مكونات الخلايا لقيبط (Uptake) الايونات المختلفة، تجارب جميع العناصر الثقيلة تتم بتعليق كمية من الخلايا (محسوبة على اساس الوزن الجاف او الطري) في المحاليل الحاوية على ايونات العناصر ثم جمعها بوساطة المنبذة، من ثم قياس التركيز المتبقى للعنصر في المحلول، او يمكن اجراء العملية بتنمية الخلايا المايكروبية في اوساط غذائية سائلة حاوية على تراكيز من العناصر الثقيلة.

2. نظام الجريان المستمر Contineous flow System.

هذه الطريقة تعتمد على تقييد الخلايا المايكروبية على المادة الاساس، ومن ثم تعبئتها في اعمدة يمكن من خلالها التحكم بسرعة جريان المحاليل الحاوية على العناصر الثقيلة، وتعرف هذه التقنية بانها التقنية التي تمنع أو تقلل من حركة الخلايا داخل المفاعل الحياتي (Bioreactor)، بهذه الطريقة يمكن معالجة

كميات كبيرة من المياه الملوثة بدون فقدان للخلايا التي تعمل مازات حيوية لمدة زمنية طويلة، وقد لاحظ أحد الباحثين زيادة في كفاءة البكتيريا لقطب عناصر الرصاص، والنحاس، والكادميوم باستخدام طريقة الجريان المستمر، كما قام بدراسة قبط الحديد والسيلكا باستخدام البكتيريا *Bacillus subtilis* المقيدة على مواد بوليميرية وموازنتها مع الخلايا الحرة فكانت الخلايا المقيدة افضل في عملية القبط، معظم البحوث التي انجزت في هذا المجال استخدمت فيها انواع مختلفة من البكتيريا مثل: *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* وكذلك انواع من الخمائر مثل: *Saccharomyces* وكذلك الفطريات مثل: *Aspergillus Rizopus*.

تقنية تقييد الخلايا *Immobilization*:

ويقصد بها العملية التي تتم بوساطتها تحدد حركة الخلايا المايكروبية او مشتقاتها او الانزيمات بامتزازها على سطوح مواد سائدة او اقتناصها داخل المواد مثل: الالياف، والهلامات، او المواد البلاستيكية وغيرها، وهي إحدى الطرائق التقليدية الرائدة للتقنية الحياتية، وبعد التصاق الخلايا البكتيرية على سطوح المواد المختلفة والعوامل المؤثرة في ذلك من المواضيع المهمة والتقنيات الواسعة الاستخدام في مجال صناعة الادوية وافتاح المواد الغذائية والانزيمات.

إن عملية التقييد ماهي الا محاكاة للطبيعة فاعلم المواد والانزيمات تكون مقيدة داخل الكائنات الحية في الانسجة والاعضاء، فالخلايا المايكروبية في الطبيعة تكون ملتصقة على حبيبات التربة، وعمليات التقييد العديد من الفوائد التي تجتذب انتباه المشتغلين، ومن هذه الفوائد:

1. تقييد الخلايا المايكروبية سواء اكانت خلايا كاملة ام حطام الخلايا يؤدي الى اطالة مدة استعمالها لاوقات طويلة بشكل مستمر. كذلك يمكن استعمالها بشكل متكرر في العمليات اذ انها لا تفقد عند نهاية العملية التخمرية وبذلك تقلل التكاليف .

2. عملية التقييد تزيد من ثبوتية الخلايا حيث يمكن اطالة حيوية الخلايا عند تقييدها في حبيبات الهلام أو غيره من المواد التي تسمح بنمو محدد دون ان يؤثر ذلك في نظام التقييد.

3. تقييد الخلايا المايكروبية يفيد في كون نواتج العمليات التخمرية تكون خالية منها؛ وهذا يسهل عمليات التنقية والاستخلاص فضلاً عن ان الخلايا المقيدة في اغلب الاحيان لاتنمو ومن ثم لاتنتج فضلات عرضية خاصة بها؛ ولذا تكون النواتج خالية منها وتزداد سهولة عملية الاستخلاص.

وعليه فالملاحظ ان عمليات التقييد تؤدي الى التقليل من استهلاك الطاقة، وتقليل التكاليف، كما انها توفر فرص اكبر للسيطرة على عمليات التصنيع.

• المواد وطرائق التقييد:

أولاً؛ الطرائق الفيزيائية وهي تشمل طرائق مختلفة منها:

1. التغليف داخل الكبسولات (Encapsulation) باستعمال اغشية رقيقة نصف ناضجة.
- ب. الادمصاص (Adsorption) على سطوح او داخل مواد غير ذائبة.
- ج. الاقتناس (Entrapment) داخل المواد الهلامية.
- د. الارتباط التساهمي (Covalent binding).

ثانياً؛ الطرائق الكيميائية وتتم من خلال إنشاء أواصر خاصة مثل:

1. تكوين اواصر عرضية (Cross-Linking).
- ب. تكوين اواصر تساهمية (Covalent Bonding).

والشكل (23) يوضح طرائق التقييد المختلفة.

اما المواد المستعملة في هذا المجال كثيرة فضلاً عن انها توجد باشكال مختلفة ويمكن تقسيم المواد المستعملة على قسمين:

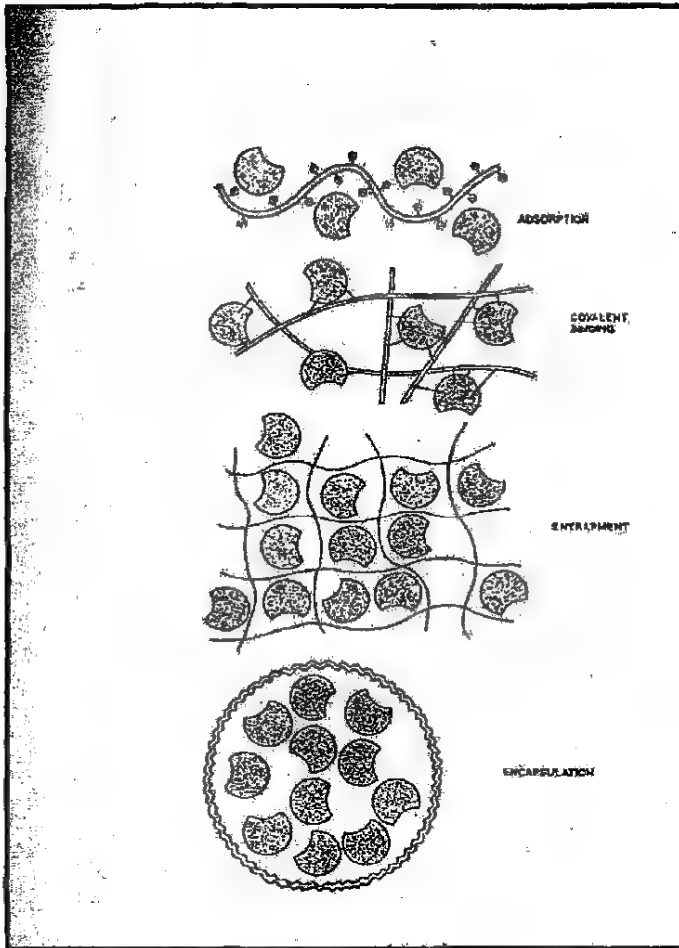
1. المواد اللاعضوية:

وتم استعمالها في وقت مبكر حتى قبل استعمال المواد العضوية، الا ان الاخيرة هي التي تطورت واستعملت بكثرة، ان العديد من المواد اللاعضوية يمكن استعمالها بوصفها مواداً مقيدة مثل السيراميك الذي يستخدم بكثرة في الصناعات البتروكيمياوية كذلك الاطيان، الالومينا، البيركس، الرمل، الفحم الحبيبي، وتستخدم هذه لتقييد أنواع مختلفة من الأجناس البكتيرية لمعالجة المياه الملوثة بالعناصر الثقيلة، ان المواد اللاعضوية المستعملة للتقييد يجب ان تكون خاملة وغير ذائبة في الماء وصلبة وغير قابلة للانضغاط، وقد يكون التقييد على بعض هذه المواد امراً مكلفاً لكن التعويض يكون بإمكانية استعمال العامل المساعد لافترات طويلة ومتكررة.

هناك القليل من الدراسات التي استخدمت فيها مواد طبيعية مثل: الفحم، والرمل، والخشب او مواد اخرى في تقييد خلايا الاحياء المجهرية لغرض امتزاز ايونات العناصر الثقيلة من المحاليل المائية، تركز اغلب الدراسات على استخدام مثل هذه المواد في الترشيح معتمدة على قابلية المواد في امتزاز الايونات وكذلك على طول عمود التعبئة المستخدم.

لقد تمكن عدد من الباحثين من امتزاز عدد من العناصر مثل: (الكروم، والخاصين، والسيلينيوم) باستخدام منظومة بايولوجية حاوية على خلايا البكتريا *Shewanella putrefaciens* المقيدة على الرمل، وبلغت كمية الامتزاز 35.1 ملغم / لتر، اما فقد اثبت كفاءة الترشيح بالرمل للعديد من ايونات العناصر الثقيلة والامتزاز بوساطة البكتريا التي تنمو عليه، وبلغت نسبة الازالة 100 % للكوبلت، و80 - 90 % للحديد، و60 - 80 % للالنيوم والكروم والفضة والخاصين،

وقد تم امتزاز الرصاص باستخدام مواد طبيعية مثل اغلفة جوز الهند، بكمية بلغت 2.6 ملغم / لتر، كما استخدم الكاريون المنشط في تقييد خلايا البكتريا *Enterobacteraerogenes* واستخدامها في امتزاز ايونات بعض العناصر الثقيلة.



شكل (23) طرق تقييد الخلايا

2. المواد العضوية:

وهي مواد تكون ذات طبيعة بوليميرية وقد تستعمل هذه المواد بصورة مباشرة أو يمكن استعمال مشتقاتها أو المواد الناتجة منها بعد إجراء بعض التحويلات عليها كي تصبح ملائمة للتقييد ومنها: السليلوز ومشتقاته، الأكاروز، النشا، الكولاجين، ومتعدد الأكريلاميد، والألجينات، والبوليمرات الصناعية مثل: متعدد الستارين الذي اثبت قدرة في ازالة الامونيا من مياه الفضلات، أما متعدد الأكريلاميد فقد سجل زيادة في قبض عناصر مثل: اليورانيوم والكاديوم والرصاص والنحاس باستخدام الخلايا المقيدة مقارنة مع الخلايا الحرة.

مادة الألجينات:

هي عبارة عن بوليمرات مضاعفة متغايرة من الأحماض الكاربوكسيلية α -L- glucuronic و β -D-mannuronic التي ترتبط بالاصرة الكلايكوسيدية (1 - 4)، وهي تستخلص من الادغال البحرية وتستعمل بوصفها مضافات للأغذية، ويمكن ان تهلم باستعمال ايونات الكالسيوم، تستعمل مادة الألجينات لتقييد الخلايا والأنزيمات، وقد استعملت بنجاح في تقييد الخلايا النباتية، والخلايا المقيدة داخل هذه المواد تبقى محتفظة بحيويتها ونشاطها، ان طريقة تحضير هلام الألجينات تكون يسيرة وسهلة ولا تحتاج الى اجهزة أو معدات معقدة، أما مساوئ هذه المادة فهي تكون مادة لزجة عندما تحل في الماء وقبل ان تهلم تميل الى تكوين قطيرات صغيرة الحجم غير معتمدة على حجم الثقب الذي تحقن منه خلال عمليات التحضير؛ لذلك عند دخولها الى المحلول المهلم فإن الحبيبات تكون مختلفة الحجم.

استخدم هلام الألجينات في تقييد خلايا الخميرة *Saccharomyces cervisiae* لازالة النحاس من المياه، واثبت هلام الألجينات فعاليته في انجاز العملية، ويعد هلام الألجينات من المواد الجيدة في تقييد الخلايا، وغير سام وسهل التحضير الجدول (6) يوضح بعض المواد الصناعية المستخدمة في التقييد.

جدول (6) بعض المواد المستخدمة في التقييد لامتراز العناصر

العناصر الممتزة	نوع الكتلة الخيالية	مواد التقييد
Au, Cu, Fe, Zn	Chlorella vulgaris Spirulina platensis Chlorella salina Rhizopus arrhizus	الجينات الكالسيوم
U, Cd, Pb, Cu, Co, Cd	Citrobacter sp. Rhizopus arrhizus	هلام متعدد الاكريلاميد
Cu, Ni, U, Pb, Hg, Cd, Zn, As, Ag	Algisorb sp	السليكا
U	Pseudomonas aeruginosa	متعدد الارثان Polyurethane
Pb, Cd, Zn	Phormidium laminosum Citrobacter sp.	متعدد السلفون Polysulfone

• البكتريا كدليل حيوي على التلوث بمياه المجاري:

يعيش الكثير من الانواع البكتيرية في امعاء الانسان و الحيوان طلبا للحصول الى المغذيات من الطعام المهضوم، و الملايين من هذه البكتريا تطرح مع الغائط فاذا تواجدت احياء مجهرية ممرضة في الامعاء فسوف تطرح ايضا مشكلة خطرة صحيا تهدد اولئك الذين سيتعرضون للاتصال المباشر مع هذه المياه، لذابات من الضروري اجراء فحوصات دورية على ماء الشرب لضمان عدم تلوثه بماء المجاري.

يتم البحث عن دلائل مايكروبية بدلا عن البحث عن الاحياء المجهرية الممرضة وذلك لعدة اسباب منها: ان العملية صعبة و مكلفة و خطيرة في الوقت نفسه. بكتريا القولون البرازية و افراد العائلة المعوية (Enterobacteriaceae) المتضمنة *Escherichia coli* و *Citrobacter* و *Enterobacter* و *Klebsiella* غالبا ما تستغل كدلائل على التلوث بماء المجاري، ولانها تتواجد في الامعاء فان وجودها مرتبط مع الاحياء المجهرية الممرضة المتواجدة في الامعاء ايضا، ان وجود هذه الانواع البكتيرية باعداد كبيرة في المياه يقود الى الاعتقاد ان هذه المياه قد تلوثت حديثا بالبراز الذي لا يكون بالضرورة بشريا، على الرغم من عدم وجود دليل قاطع على التلوث ببراز الانسان حصرا، لكن قد يرتبط تواجد البكتريا المعوية الاخرى مثل العقديات (Sterptococci) و المكورات المعوية (Enterococci) اكثر من العائلة المعوية.

اعتقد سابقا ان النسبة بين العقديات البرازية الى بكتريا القولون قد تحدد ما اذا كان التلوث البرازي من اصل بشري ام حيواني، ولكن لم يعد يعمل بها حاليا نظرا الى ان العقديات لا تتمكن من البقاء مدة طويلة في المياه المفتوحة مما يصعب عملية تحديد تراكيزها الحقيقية، فضلا عن ذلك لا يعد عدم تواجد هذه الانواع المايكروبية في المياه دليلا قاطعا على نظافتها، فهناك الكثير من الممرضات التي تتواجد في المياه دون الحاجة الى ان يكون الانسان هو المضيف الوسطي لها. ولكن وفي اية حال تبقى عملية استخدام الدلائل الحيوية المايكروبية مفيدة جدا في اصطاء تحذيرات مبكرة للتلوث المايكروبي.



الفصل السابع

المحافظة على البيئة

المائية

• تفاقم أزمة المياه:

مما لا شك فيه ان المياه في غالبية بلدان العالم تعاني من تدرج كبير، فقد أشارت الإحصاءات الأخيرة إلى أنه لا يزال 1.2 بليون نسمة يفتقرون إلى سبل الحصول على المياه المأمونة، فيما يفتقر 2.5 بليون نسمة إلى مرافق صرف صحي مناسبة، ونتيجة لسوء مواصفات المياه يلقي مليوناً نسمة حثهم سنوياً، ومعظمهم من الأطفال، وذلك من جراء الإصابة بالأمراض المتصلة بالمياه أو الصرف الصحي، ومن الجدير بالذكر أن ثلث سكان العالم يعيشون في بلدان تواجه ضغوطاً في مجال المياه، ويتوقع أنه وبحلول عام 2025 قد يرتفع هذا العدد إلى الثلثين.

فضلا عن ما تقدم تورد الطبعة الثالثة من تقارير توقعات البيئة العالمية أن المياه تحظى بأولوية منخفضة من قبل أكثر الدول في العالم، ويتضح ذلك من خلال تقلص حجم المساعدة الإنمائية الرسمية المقدمة لهذا القطاع، وانخفاض الاستثمارات من جانب المؤسسات المالية الدولية، فضلا عن المرتبة المتدنية التي تحتلها في الميزانيات الوطنية، وغياب عنصر المياه كمعلم أساسي في البرامج الإقليمية الرئيسية؛ وتنبؤ أغلب قضايا المياه والصرف الصحي حول ما يلي:

أ. عملية الحصول على المياه وتوافرها والقدرة على تحمل الكلفة.

ب. قضايا التخصيص.

ج. بناء القدرات والاحتياجات التكنولوجية.

إن المؤشر الدولي الحديث لتدرة المياه كما عُرف من جانب مركز الإيكولوجيا والهيدرولوجية والمجلس العالمي للمياه يُظهر أن بعضاً من أغنى دول العالم تحتل مرتبة متدنية في مجال استخدام المياه، فيما تحتل بعض البلدان النامية مكانة عليا وتعتبر من الدول العشر الأولى في هذا المجال.

تقد أعد جدول قحط المياه فريق مؤلف من 31 باحثاً بالتشاور مع أكثر من 100 من المتخصصين في مجال المياه من شتى أنحاء العالم. ويعمل هذا المؤشر على المستوى الدولي على ترتيب الـ 147 بلداً وفقاً لإجراءات مختلفة هي: الموارد، وسبل الحصول على المياه، والقدرات، والاستخدام والتأثير البيئي لإظهار الأماكن التي يسودها أفضل الأوضاع وأسوأ الأوضاع بالنسبة للمياه.

إن الدول العشر الأكثر تمتعاً بوفرة المياه حسب الترتيب التنازلي هي: فنلندا، كندا، آيسلندا، النرويج، غيانا، سورينام، النمسا، أيرلندا، السويد، سويسرا. أما البلدان العشرة ذات الرتبة الأدنى في قحط المياه فجميعها في العالم النامي وهي: هايتي، النيجر، إثيوبيا، إريتريا، ملاوي، جيبوتي، تشاد، بنين، رواندا وبوروندي.

وحسبما ورد في ندوة استكهولم للمياه، فإن الصلات القائمة بين الفقر والحرمان الاجتماعي، والسلامة البيئية، وتوافر المياه، والصحة تتضح بصورة أكبر لدى استخدام مؤشر قحط المياه، الأمر الذي يمكن واضعي السياسات وأصحاب المصالح من تحديد أماكن وجود المشاكل واتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجة أسهلها، أما الدول الجزرية الصغيرة النامية، فهناك 44 دولة من الدول الجزرية الصغيرة النامية تواجه قضايا خاصة تتصل بالبيئة والتنمية نظراً لصغر حجمها ومواردها المحدودة وانتشارها الجغرافي، وانعزالها عن الأسواق، ونتيجة لصغر حجمها والظروف الجيولوجية والطوبوغرافية والمناخية التي تنفرد بها، تواجه هذه الدول قيوداً حادة من حيث كل من كمية المياه العذبة وجودتها، ويواجه خاص هذا هو الوضع السائد بالنسبة للجزر المنخفضة المرجانية، حيث تكون إمدادات المياه الجوفية محدودة وغير محمية إلا بطبقة رقيقة من التربة ومنفذ للمياه، وحتى حين يكون هطول الأمطار وفيراً فإن الحصول على المياه النظيفة يكون ضئيلاً من جراء الافتقار إلى المرافق الكافية للتخزين ونظم التنفيذ الفعالة.

أما فيما يتعلق بالبيئة الساحلية فإنه من الجدير بالذكر أن بعضاً من أهم النظم البيئية المائية في العالم مثل مصبات الأنهار والبحيرات والمنغروف والشعاب المرجانية توجد في المناطق الساحلية، بيد أن الخطوط الساحلية آخذة في الإنحساف والضعف من جراء تأثيرها بالأنشطة البشرية؛ فحوالي 50 في المائة من السكان يعيشون ضمن مساحة تبلغ 200 كيلومتر من خطوط السواحل وتزايد النسبة يومياً، وإضافة إلى ذلك، توجد غالبية المراكز الحضرية في المناطق الساحلية، ومن المعترف به على نطاق واسع أن ثمة روابط هامة بين قضايا المياه العذبة في أعالي أحواض الأنهار وقضايا المياه في المناطق الساحلية المجاورة، فالتغيرات في تدفقات القنوات الناجمة عن أعمال الري والطاقة المائية وإمدادات المياه أدت إلى تغيير مستويات الملوحة في مصبات الأنهار والبحيرات وتصريف نفايات المياه من المنازل والمواد الكيميائية الصناعية السامة وأسفرت عن تردي جودة المياه وألحقت الأضرار الملحوظة بالنظم البيئية الساحلية، وكذلك بالأوضاع العيشية للملايين من الفقراء الذين يعتمدون على مصايد الأسماك الساحلية.

وفيما يتعلق بالحقائق والأرقام، فمن المهم ملاحظة أن المناطق الساحلية حاسمة بالنسبة لدعم الحياة على كوكبنا، فهي تستأثر بـ 20 في المائة من سطح الأرض، علماً بأنها تستضيف نسبة ملحوظة من السكان، والنظم البيئية الساحلية عالية الإنتاج ومتنوعة وتوفر 90 في المائة من مصايد الأسماك العالمية، وحوالي 25 في المائة من الإنتاجية البيولوجية العالمية، كما أن النظم البيئية الساحلية مسؤولة عن تنقية وإعادة معالجة الأسمدة الصناعية، والنواتج الجانبية الأخرى الناشئة عن الصناعات الحديثة التي تتدفق دون توقف.

وتوضح الإحصاءات التالية الضغوط المفروضة على البيئات الساحلية:

1. ما يقارب 50 في المائة من السكان يعيشون في مساحة تبلغ 200 كيلومتر من الساحل.

2. إن متوسط الكثافة السكانية في المناطق الساحلية يصل إلى حوالي 80 شخصاً للكيلومتر المربع الواحد وهو ضعف المتوسط العالمي.
 3. إن أكثر من 70 في المائة من المدن المتضخمة في العالم (أكثر من 8 ملايين نسمة) توجد في مناطق ساحلية.
 4. ما يقارب الـ 80 في المائة من التلوث البحري يتكون من جراء الأنشطة البرية.
 5. أكثر من 90 في المائة من المياه المستعملة و70 بالمائة من النفايات الصناعية تصرف في المياه الساحلية دون أية معالجة.
 6. تنشأ حوالي 250 مليون حالة من الإصابة بأمراض الالتهاب المعوي والأمراض التنفسية سنوياً بسبب الاستحمام بالمياه الملوثة.
- ومن البيئات المائية الأخرى المروضة لضغوطات الإنسان تبرز البحار والمحيطات، والتي تستأثر بـ 72 في المائة من سطح الأرض، وتؤدي وظيفة جوهرية لدعم الحياة فضلاً عن الطاقة والغذاء والنقل.
- إن الإحصاءات التالية توضح ما يفرض على المحيطات من ضغوط:
- أ. من أصل 126 نوعاً من أنواع الثدييات البحرية، يرد 88 نوعاً في القائمة الحمراء للأنواع المهددة التابعة للاتحاد العالمي لحفظ الطبيعة والموارد الطبيعية.
 - ب. يتعرض حوالي 58 في المائة من الشعاب المرجانية في العالم للخطر بسبب تنمية السواحل وتلوث البحار والاستغلال المفرط، فيما يتعرض حوالي 27 في المائة من الشعاب لأخطار شديدة جداً.
 - ج. إن مواطن أعشاب البحار الهامة التي تحتل ما يزيد على 600000 كلم² يجري تدميرها بشكل سريع، ففي بلدان جنوب شرق آسيا تم ضياع 20 إلى 60 في المائة من أحواض أعشاب البحار.

وفي هذا الصدد اشار تقرير فريق الخبراء المشترك 2001 المعني بالجوانب العلمية لحماية البيئة البحرية بأن السلامة البيئية البحرية بما في ذلك مصبات الأنهار والمياه الساحلية القريبة من الشواطئ أخذت في التدهور باستمرار على نطاق عالمي، وفي أماكن أخرى يستفحل الوضع فيها بصورة أكبر .

• جهود دولية:

ازاء المخاطر العديدة التي تواجهها البيئة العالمية بشكل عام والبيئة المائية بشكل خاص ،وتحديدا خلال السنوات الثلاثين الماضية، عقدت مؤتمرات كبرى واتفاقات دولية عديدة تمخضت عنها معلومات أساسية واسعة تستخدم اليوم في السياسات وصنع القرارات المتعلقة بموارد المياه.

لقد جاء الإعلان العالمي للبيئة في مؤتمر استكهولم بالسويد عام 1972 م ، كبادرة حسنة لادراك المجتمع الدولي لحجم المخاطر التي تتعرض لها البيئة، حيث انبثق عن هذا المؤتمر تشكيل ما يسمى بمنظمة الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، بعد ان تبنت الجمعية العمومية للأمم المتحدة في ديسمبر 1972م القرار رقم 2997 القاضي بتأسيس هذه المنظمة، وبدأت أعمالها في يناير 1973م كهيئة حافزة لوكالات الأمم المتحدة تركز على القضايا البيئية، وترصد الظواهر والاتجاهات البيئية، وتنسق العمل الدولي المعني بحماية البيئة.

بعد ذلك انعقدت قمة الأرض الأولى عام 1992م في ريودي جانيرو بالبرازيل، حيث أنها وضعت قضية التنمية المستدامة في صدر الأولويات هذا بالإضافة إلى كونه كان بمثابة أكبر تجمع دولي عقد على الإطلاق، كما نجحت نجاحاً باвроاً في رفع الوعي العام حيث ووضعت هذا المؤتمر أسلوب جديد يختلف عن ما طرحه مؤتمر استكهولم، فبينما ركز الأول على تلوث البيئة والموارد ركز مؤتمر ريو على إستراتيجية مشتركة لتنمية إنسانية سليمة من خلال تنمية إقتصادية إجتماعية مبنية على مفهوم التنمية المستدامة.

وتمثلت نتائج هذا المؤتمر النهائية في التالي:

- الاتفاق على ما يعرف بجدول أعمال القرن الحادي والعشرين: الذي يعتبر خطة عمل شاملة (40 فصلاً) لتوجيه العمل الوطني والدولي نحو التنمية المستدامة.
- إعلان ريو للبيئة والتنمية: الذي إشتهل على مبادئ تحدد حقوق الدول وواجباتها فيما يتعلق بالبيئة والتنمية.
- تزامن مع فعاليات المؤتمر فتح باب التوقيع على إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي وإتفاقية التنوع الأحيائي.

خلال العقد الماضي جرت عدة خطوات لتسريع تنفيذ جدول أعمال القرن 21 (من مقررات مؤتمر ريو)، وحددت هذه الاجتماعات الدولية العديد من القضايا والتحديات الأساسية في مجال المياه مع زيادة التركيز على توفير إمدادات المياه والصرف الصحي، وكذلك الحاجة لتحسين أسلوب الإدارة والإدارة المتكاملة لموارد المياه. واقترحت إجراءات كثيرة لمواجهة التحديات مع التشديد على أهمية اتخاذ إجراءات متضافرة لاستخدام المياه بوصف ذلك نقطة انطلاق لتحديد غاية التنمية المستدامة، كما أكد المجتمع الدولي، في غايات الألفية ونتائج القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، على أن أزمة المياه العالمية تشكل تهديداً للتنمية الاقتصادية والتقليل من الفقر والبيئة وبالتالي للسلم، كما اعترف بأن توفير المياه الصالحة للشرب والمرافق الصحية الكافية هي أمور ضرورية لحماية صحة البشر والبيئة، وفي هذا الصدد يجب أن تدرج في استراتيجيات إدارة الموارد المائية أهداف تحقيق تخفيض إلى النصف، بحلول عام 2015، في نسبة سكان العالم الذين لا يستطيعون الحصول على المياه الصالحة للشرب، أو دفع ثمنها أو الذين لا يمكنهم الحصول على مرافق صحية أساسية.

بعد ذلك انعقدت قمة عالمية أخرى في جوهانسبرج بجنوب أفريقيا (من 26 أغسطس - 4 سبتمبر 2002م)، وأسفرت هذه القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، والتي حضرها أكثر من مائة من رؤساء الدول والحكومات، عن ثلاث نتائج هامة: هي إعلان جوهانسبرج بشأن التنمية المستدامة، وخطة التنفيذ (بما في ذلك تأييد الأهداف والغايات وتجديد الالتزام بالغايات الإنمائية للألفية)، وتؤكد عن القمة أيضا تجديد الالتزام بإحداث تغيير جذري في حياة أولئك الذين يعانون من آثار عدم المساواة في العالم مع الحفاظ على سلامة البيئة الطبيعية من أجل الأجيال المقبلة، وقد حدد الأمين العام للأمم المتحدة المياه بوصفها إحدى الأولويات الخمس العليا للقمة، وسلطت القمة الضوء على مبادئ التنمية المستدامة، وبوجه خاص على الروابط بين "الاختصار إلى المياه" و"الاختصار إلى الدخل".

ووضعت هدفا هو على الأقل خفض نسبة السكان الذين يفتقرون إلى سبل الحصول بصورة مستدامة على مياه الشرب المأمونة وذلك في العام 2015 .

ان هذا الهدف هو اعتراف صريح بحقيقة أن أكثر من بليون من سكان العالم لا يزالون يفتقرون إلى مياه الشرب المأمونة، فيما يفتقر أكثر من ضعف هذا العدد إلى المرافق الصحية الكافية، وينفس القدر من الأهمية، تشكل المياه بالفعل مكوناً أساسياً لجميع الغايات الإنمائية للألفية، والتي تتراوح بين القضاء على الفقر المدقع والجوع وضمان تحقيق الاستدامة البيئية والإدارة السليمة للمياه، والتي تعتبر تقاطعاً جوهرياً لتحقيق معظم الغايات الإنمائية للألفية الأخرى إن لم يكن جميعها.

إن مشروع الأمم المتحدة للألفية هو بمثابة مسعى مدته ثلاث سنوات قام بتدشينه في الأونة الأخيرة الأمين العام للأمم المتحدة وذلك لتحديد أفضل الاستراتيجيات لتلبية الغايات الإنمائية للألفية بما في ذلك تحديد الأولويات والاستراتيجيات والسبل التنظيمية والتمويل.

واعتماداً على ما تقدم تظل إمدادات المياه العذبة وجودتها من بين أهم قضايا القرن الحادي والعشرين، وهذه الحقيقة حثت مجلس إدارة برنامج الأمم المتحدة للبيئة إدراج مسألة المياه العذبة بوصفها إحدى مجالات التركيز الخمسة الأساسية للتنمية المستدامة؛ وعلاوة على ذلك واعترافاً بالصلات القائمة بين أحواض المياه العذبة والبيئات الساحلية والبحرية، اعتمد مجلس الإدارة في دورته الحادية والعشرين سياسات واستراتيجيات للمياه لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة تركز على ثلاثة مجالات رئيسية هي التقييم والإدارة وتنسيق الإجراءات.

لقد تصدر برنامج الأمم المتحدة للبيئة عمليات معالجة الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية وأحواض الأنهار بوصف ذلك متابعة منطقية لعمله في مجال الإدارة المتكاملة لأحواض الأنهار وللمناطق الساحلية، وطور برنامج البيئة مبادئ توجيهية مفاهيمية لتمكين الحكومات في أن معاً من معالجة استدامة إدارة واستخدام المياه الساحلية وأحواض الأنهار التي تصب فيها، ويجري برنامج البيئة مشاريع بيان عملي ليظهر أن المبادئ التوجيهية والمبادئ المحددة يمكنها في الحقيقة توفير أداة فعالة لتطوير السياسات وتنفيذها للحكومات ولاسيما تلك التي تشكل برامج البحار الإقليمية. وتطبيق هذه المبادئ التوجيهية على الإدارة المتكاملة للموارد العذبة.

وبالنظر للحاجة إلى إدامة وإثراء الزخم المتولد عن القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة، فلقد ركزت مؤتمرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة على اتخاذ مقررات محددة وإجراءات داعمة من أجل ما يلي:

- أ. تعزيز تنفيذ سياسات واستراتيجيات المياه الخاصة ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة.
- ب. تدعيم التقدم المحرز في مجال أنشطة تقييم المياه لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بالاستناد إلى المنجزات التي تحققت.

- ج. التأييد التام لتنفيذ إعلان مونتريال بشأن حماية البيئة البحرية، مع مراعاة نتائج القمة المتصلة بالمياه العذبة والبيئة الساحلية والبيئة البحرية.
- د. تعزيز دور برنامج الأمم المتحدة للبيئة في مجال إدارة المياه العذبة.

فضلا عن ما تقدم وإضافة الى الجهود السابقة عملت اجتماعات دولية عديدة لمناقشة أزمة المياه وخاصة مؤتمرات المياه العالمية في كل من شيكاغو بالولايات المتحدة في العام 1973، والتي عقدت تحت عنوان (المياه من أجل البيئة الإنسانية)، ومؤتمر ميلبورن في 2000 (تحت شعار مشاركة المياه والاعتناء بها)، ومؤتمر مدريد في 2003 والذي عقد تحت شعار إدارة الموارد المائية في القرن الحادي والعشرين، ومؤتمر نيودلهي في 2005 تحت شعار المياه والتنمية المستدامة: نحو حلول مبتكرة.

كما تم اجراء فعاليات دولية اخرى تهتم بالمياه بصورة اساسية مثل المنتدى العالمي الثاني للمياه في لاهاي في عام 2000، والمؤتمر الدولي المعني بالمياه العذبة في بون في كانون الأول 2001، علما ان مؤتمر بون الدولي المعني بالمياه العذبة هو مؤتمر تحضيري معني بالمياه العذبة للقمة العالمية، وكان موضوعه "المياه، المفتاح لتحقيق التنمية المستدامة"، وتوفر مقررات المؤتمر توجيهات واضحة بشأن القضايا الأساسية والأولويات لخيارات السياسات، وقد حدد المؤتمر خمسة مفاتيح لإدارة المياه العذبة تحقيقاً للتنمية المستدامة هي:

- أ. تلبية احتياجات الأمن المائي للفقراء.
- ب. إزالة المركزية، فالمستوى المحلي هو المستوى الذي تلبي فيه السياسات الوطنية احتياجات المجتمع المحلي.
- ج. إقامة شراكات جديدة من أجل توفير خدمات إرشادية أفضل بشأن المياه.
- د. صياغة الترتيبات التعاونية على مستوى أحواض المياه بما في ذلك عبر المياه المحاذية للكثير من الشواطئ لضمان تحقيق الانسجام طويل الأجل مع الطبيعة والجهات المجاورة.

هـ. ضمان وجود ترقيبات أقوى وأفضل لأداء النشاط الإداري بوصفه أحد المفاتيح الرئيسية في هذا الخصوص.

لقد حددت هذه الاجتماعات الدولية العديد من القضايا والتحديات الأساسية المتعلقة بالمياه مع تزايد التركيز على توفير إمدادات المياه والصرف الصحي، وكذلك الحاجة إلى تحسين الإدارة والإدارة المتكاملة للموارد المائية، واقرحت لمواجهة التحديات الكثير من الإجراءات التي تشدد على أهمية اتخاذ الإجراءات المتضافرة لاستخدام المياه كنقطة انطلاق لتحقيق هدف التنمية المستدامة، وكما وردت الإشارة من قبل، فالمياه هي عامل حاسم يؤثر في استجابات المجتمع الدولي وما يتخذه من إجراءات من أجل تحقيق الأهداف التنموية للألفية بما في ذلك تلك الرامية إلى التقليل من الفقر ودمج مبادئ التنمية المستدامة في السياسات والبرامج الوطنية وتحسين سبل الحصول على المياه والارتقاء بمستوى معيشة الفقراء من السكان والحد من الوفيات بين الأطفال بحلول عام 2015.

وفي هذا الصدد ندرج بعض من فعاليات برنامج الأمم المتحدة للبيئة في حماية الموارد المائية العالمية وإدارتها، ففي مجال إدارة وحماية البيئة البحرية تتمثل الآلية الرئيسية في برنامج العمل العالمي لحماية البيئة البحرية من الأنشطة البرية الرامي إلى تعزيز الجهود المبذولة على المستويات الوطنية والإقليمية والعالمية لمعالجة ما قد يعتبر أهم خطر يهدد البيئة البحرية أي تدفق المواد الكيميائية ومياه المجاري والأنواع الأخرى من النفايات والملوثات إلى البحار عن طريق الهواء والأنشطة التي تجري في الأنهار والسواحل، والبرنامج الآخر في مجال البيئة البحرية هو برنامج البحار الإقليمية والذي يوفر إطاراً فعالاً لأدوات السياسات والأدوات القانونية وغيرها لإدارة السواحل والمحيطات في 15 منطقة من مناطق العالم.

أما في مجال حماية المياه العذبة والبيئة الساحلية والبحرية للدول الجزرية الصغيرة النامية، فإن مهمة برنامج الأمم المتحدة للبيئة هو تيسير تنفيذ برنامج عمل بربادوس للدول الجزرية الصغيرة النامية ودعمه، كما يقوم البرنامج بدعم مشروع شبكة العمل الدولية للشعاب المرجانية، فضلاً عن ربط الإدارة المتكاملة لموارد المياه بالإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية، وتطوير مبادئ توجيهية للإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية وأدوات أخرى ذات صلة.

أما فيما يتعلق بالمياه الداخلية فقد قام برنامج الأمم المتحدة باعداد برامج ومشاريع للإدارة السليمة بيئياً للمياه الداخلية مثل خطة عمل تنمية نهر زامبيزي؛ ودراسة تشخيصية لحوض بحيرة تشاد وخطة عمل لها، وتعزيز الحوار الحكومي الدولي بشأن تحسين عملية صنع القرار بشأن السدود وبدائلها وإدارتها.

كما قام البرنامج أيضاً بالتشجيع على استخدام تكنولوجيات دولية سليمة بيئياً للتصدي لقضايا الإدارة الحضرية وإدارة المياه العذبة؛ إضافة إلى تأسيس المركز التعاوني المعني بالمياه والبيئة، وهو مركز للخبرات يقدم الدعم لتنفيذ سياسات واستراتيجيات المياه الخاصة ببرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ويركز على الجوانب البيئية لموارد المياه العذبة والبيئة البحرية، كما يجري المركز دراسات هامة وبعد المبادئ التوجيهية والمساعدة التقنية في مجال إدارة المياه، إضافة إلى التنفيذ الإقليمي لسياسات واستراتيجيات المياه بما في ذلك مساندة الحوار الحكومي الدولي بشأن المياه (مثلاً مساندة برنامج الأمم المتحدة للبيئة لقيام المؤتمر الوزاري الأفريقي المعني بالمياه)، ويساعد برنامج الأمم المتحدة الحكومات، بناءً على الطلب، في تطوير خطط لإدارة المياه العذبة تطبق على مستوى أحواض الأنهار/البحيرات/الطبقات الصخرية المحتوية على مياه بما في ذلك أحواض الأنهار العابرة للحدود. ويشجع برنامج البيئة الإدارة الشاملة لأحواض الأنهار/البحيرات/الطبقات الصخرية المحتوية على مياه لدى التصدي لمسألة موارد المياه العذبة المستدامة.

• التعاون والاتفاقيات على المستويين الدولي والإقليمي في مجال المياه

تشترك بلدان كثيرة في نظام أو أكثر من نظم المياه العذبة كالبحيرات أو الأنهار، وفي الواقع يقدر أن هناك أكثر من 300 حوض من أحواض الأنهار العابرة للحدود، وكذلك العديد من الطبقات الصخرية المحتوية على مياه جوفية التي يشترك بها إثنان أو أكثر من البلدان.

واعتماداً على ما تقدم سوف يواصل برنامج الأمم المتحدة تشجيع التعاون الدولي داخل إطار أنشطة الإدارة المتكاملة للأحواض النهرية، بما في ذلك تيسير تنفيذ الاتفاقات متعددة الأطراف العالمية والإقليمية للمياه العذبة المشتركة على المستوى الدولي، وقد بدأ برنامج البيئة تقييماً لمدى فعالية الأدوات أو الاتفاقات الدولية القائمة حالياً المعدة لتيسير التعاون بين البلدان فيما يتعلق بموارد المياه الدولية المشتركة.

كما تقدم تقارير توقعات البيئة العالمية معلومات متوقعة عن البيئة الإقليمية؛ فالتقييم العالمي للمياه الدولية يغطي 66 منطقة من المناطق التي يتم فيها التصدي لقضايا ترتبط بمسطحات المياه المحددة والملوثات والأراضي والإدارة المتكاملة للأراضي والمياه؛ ويمنح أطلس اتفاقات المياه العذبة الدولية الذي أصدره برنامج الأمم المتحدة للبيئة وشركاؤه في الأونة الأخيرة، اهتماماً خاصاً لاتفاقات المياه الإقليمية.

إن البرنامج الجديد لتقييم جودة المياه العذبة يعمل على تعزيز التعاون مع المؤسسات الوطنية؛ ويجري تنفيذ برنامج العمل العالمي في مناطق عديدة، مع وضع التشديد بوجه خاص على تطوير برامج عمل وطنية، وعلى التنفيذ والعمليات على المستوى الإقليمي بما في ذلك البروتوكولات الإقليمية؛ ويغطي برنامج البحار الإقليمية حالياً 15 منطقة؛ وتعمل المكاتب الإقليمية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة

على دعم الإجراءات والعمليات المذكورة أعلاه والأهم من ذلك تعمل على تيسير الحوار الحكومي الدولي على المستوى الإقليمي.

ومن الاتفاقيات المهمة التي وقعت عليها بلدان عديدة من أجل حماية البيئات المائية ما يلي:

- الاتفاقية الدولية لمنع تلوث البحر بالنفط (عام 1954م).
- تعديلات الاتفاقية الدولية لمنع تلوث البحر بالنفط (عام 1954م)، المعنية بإجراءات ناقلات النفط وتحديد حجمها (1971).
- التعديلات المتعلقة بحماية حاجز الشعاب العظيم (1971)، والتي أضيفت للاتفاقية الدولية لمنع التلوث البحري بالنفط (عام 1954م).
- المعاهدة الدولية الخاصة بالمسؤولية المدنية للأضرار الناتجة عن التلوث بالزيت (1969م).
- اتفاقية حظر تخزين ووضع الأسلحة النووية ذات التدمير الشامل في قاع البحر أو المحيط وفي التربة التحتية لهما (عام 1971م).
- اتفاقية حظر تطوير وإنتاج وتخزين الأسلحة البكتيرية (البيولوجية) والسامة (عام 1972م).
- اتفاقية منع التلوث البحري بإلقاء المخلفات والمواد الأخرى (1972م).
- المعاهدة الدولية لمنع التلوث الناتج عن السفن (1973م) والمعدل ببروتوكول عام 1978م (ماربول 73/78).
- معاهدة الأمم المتحدة لقانون البحار (عام 1982م).
- معاهدة الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي (عام 1992م).
- البروتوكول الخاص بإمكانيات السلطة الدولية لقاع البحار وحصاناتها (1998م)، ويتبع معاهدة الأمم المتحدة لقانون البحار (عام 1982م).
- بروتوكول كيوتو (1997م) التابع لمعاهدة الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي (عام 1992م).

- كما ان هناك عدد من الاتفاقيات والمعاهدات والبروتوكولات الإقليمية منها:
- إتفاقية الكويت الإقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).
- البروتوكول الخاص بالتعاون الإقليمي لمكافحة التلوث بالانضط والمواد الضارة الأخرى في الحالات الطارئة - يتبع إتفاقية الكويت الإقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).
- الإتفاقية الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (عام 1982م).
- البروتوكول الخاص بالتعاون الإقليمي لمكافحة التلوث بالانضط والمواد الضارة الأخرى في الحالات الطارئة - ويتبع الإتفاقية الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (عام 1982م).
- البروتوكول الخاص بالتلوث البحري الناجم عن نشاطات إستكشاف واستغلال الجرف القاري (عام 1989م) - ويتبع إتفاقية الكويت الإقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).
- البروتوكول الخاص بحماية البيئة البحرية من التلوث من مصادر في البر (عام 1990م) - بروتوكول حماية البيئة البحرية من التلوث من مصادر في البر - في منطقة المنظمة الإقليمية لحماية البيئة البحرية (عام 1978م).
- البروتوكول الخاص بالتحكم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود البحرية والتخلص من النفايات الخطرة وغيرها من النفايات (عام 1998م) - ويتبع إتفاقية الكويت الإقليمية للتعاون في حماية البيئة البحرية من التلوث (1978م).

• جهود أخرى:

ان اهمية البيئة لكل إنسان تتطلب أن تتضافر كافة الجهود من أجل مكافحة التلوث بشتى أشكاله، وخاصة التلوث المائي ابتداءً بالحكومات المختلفة والمؤسسات المختصة وانتهاءً بالأفراد، لذلك فإن الجهود التي يمكن إن تبذل لاستدامة وتواصل النظم البيئية المائية وتواصل الجنس البشري تتطلب فهما أفضل لطبيعتها المتحركة، وتحولاً من أسلوب التقطيع والتدرج والإدارة قصيرة النظر للموارد الطبيعية، إلى تنظيمها وإدارتها بطريقة تضمن نموها واستمرارها على المدى الطويل.

وعليه فمن الثابت أن مصير الإنسان، مرتبط بالتوازنات البيولوجية وبالسلاسل الغذائية التي تحتويها النظم البيئية، وأن أي إخلال بهذه التوازنات والسلاسل ينعكس مباشرة على حياة الإنسان، ولهذا فإن نفع الإنسان يكمن في المحافظة على سلامة النظم البيئية التي تؤمن له حياة أفضل.

ان عملية المحافظة على البيئات المختلفة وخاصة البيئات المائية تحتاج الى بذل جهود كبيرة وعلى مختلف المستويات، ولا يقتصر بالضرورة على الجهود الدولية التي تبنتها الأمم المتحدة، ولكن أيضاً ممكن ان يتم بعدد من الاجراءات منها:

1. نشر التوعية البيئية:

يجب ان تبذل جهود كبيرة من أجل خلق وعي بيئي وتربية بيئية لدى كافة سكان لعالم، وتضمن الماء في برامج التربية البيئية في كافة المراحل الدراسية، لخلق جيل قادر على اكتساب المهارات العلمية والأكاديمية للتعامل مع الموارد المائية في بيئته والمحافظة عليها وصيانتها من التلوث، والتعرف على السلوك الصحيح والضار تجاه الموارد المائية، فضلاً عن التعرف على النواحي الجمالية في الماء واستخداماته الرشيدة.

بالعمل على منع التلوث أو الحد منه، وتقوم المنظمات البيئية أيضاً بنشر المجالات والمواد الأخرى لإقناع الناس بضرورة منع التلوث.

3. تشريعات حكومية صارمة:

يجب إن تعمل الحكومات القومية والمحلية في مختلف أرجاء العالم على التخلص من التلوث الذي يسبب التلف للنظم البيئية المائية، وذلك من خلال سن القوانين والتشريعات التي تساهم في المحافظة على البيئة المائية، وتمثل التشريعات الحكومية في المحافظة على البيئة وحمايتها في الإجراءات القانونية التالية:

1. تشريعات قانونية دولية قادرة على تنظيم مسؤولية الدول لمنع إحداث الضرر للنظم البيئية المائية المختلفة، وتشريعات عالمية وإقليمية لحل المشكلات البيئية التي قد تنشأ بين الدول المتجاورة.
 2. سن القوانين والتشريعات الخاصة بنوعية الماء ومراقبة التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية.
 3. تشريعات تنظيمية تتعلق بالمشكلة السكانية، وتنظيم النسل، وتخطيط العائلة، مع ما يرافق ذلك من تشريعات تتعلق بالمسألة الغذائية، والأمن الغذائي والوطني والعالمي.
 4. سن تشريعات قانونية وطنية وإقليمية وعالمية تلزم أصحاب المصانع والشركات الصناعية بإتباع أساليب وتقنيات حديثة للحد من خطر التلوث البيئي واضطراب النظم البيئية.
4. الدفع باتجاه استخدام تقنيات جديدة:

لقد اكتشفت العديد من الشركات أن الحد من التلوث أمر مطلوب من المنظور التجاري، فقد وجد بعضها أن الحد من التلوث يحسن صورتها لدى الجماهير، كما أنه يوفر المال، وطور آخرون منتجات أو وسائل لا تشكل خطورة على البيئة، وذلك سعياً لكمب رضی المستهلكين، كما طور البعض الآخر أنظمة

لمكافحة التلوث لاعتقاده بأن القوانين سترغمهم على فعل ذلك، أجلاً أو عاجلاً .
وتحد بعض الشركات من التلوث لأن القائمين على هذه الشركات آثروا أن يفعلوا
ذلك من منطلق إحساس حقيقي بالمشاكل البيئية.

5. حماية اكبر للمصادر المائية غير الملوثة:

ويتم ذلك من خلال تحديد مناطق حماية المصادر المائية الجوفية
والسطحية، وحمايتها من التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية، لذلك يجب دراسة
مناطق التغذية المائية ومجرى المياه الجوفية، والسطحية واتجاه الجريان ونوعية
الملوثات ونوعية التربة والصخور المحيطة بالمصدر المائي ومصدر التلوث.

6. تكثيف الدراسات والبحوث في مجال تلوث المياه:

لما كانت أهداف العلم تتمثل في التفسير والتنبؤ والضبط، لذا فإنه يتوقع
من العلم أن يقوم بدور أساسي في مكافحة التلوث البيئي المائي، والمحافظة على
البيئة المائية بالذات من خلال الإجراءات العلمية والتكنولوجية، ومن ذلك
استقصاء المواد الملوثة للماء وإعداد قوائم قياسية لها ودراسة طبيعة الماء من حيث
حجم وتركيب وشحنة الجسيمات الملوثة فيه وكذلك خواصه، وتحديد التأثيرات
الزمنية للمواد الملوثة عند تضرر الإنسان والكائنات الأخرى لتركيزات منخفضة
منها وتحديد الأمراض المنقولة عن طريق المياه الملوثة وسن التشريعات الفردية
للإبقاء على الماء في حالة كيميائية وطبيعية وبيولوجية لا تسبب أضرارا للإنسان
والحيوان والنبات، بالحرص على التحليل الدوري للمياه كيميائيا وبيولوجيا
للتأكد من سلامتها باستمرار.

وفي هذا الصدد ينبغي التذكير أن دور العلم يمتزج امتزاجا كاملا بدور
المجتمع، فالعلم يؤثر في المجتمع، والمجتمع يؤثر في العلم، وعليه، فإن المسؤولية
الاجتماعية ينبغي أن تسير جنبا إلى جنب مع الإبداع العلمي والتقنية الصناعية
حتى يمكن إنتاج صناعات تفيد الإنسان وتسير سبل عيشه دون أن تدمر بيئته، وفي

هذا الصدد يجب العمل على دفع الاهتمام الواسع بالبيئة من قبل العلماء والمهندسين، وإلى البحث عن الحلول التقنية لهذه المسألة، فبعض الأبحاث تحاول إيجاد طرق للتخلص من التلوث أو تدبيره، وبعضها الآخر يهدف إلى منعه، وبحوث أخرى تحاول إيجاد استعمال مفيد وبدل للملوثات، ولحماية المصدر المائي من التلوث غالباً ما يتم تحديد ثلاث مناطق كالتالي:

أ. المنطقة الداخلية: وهي المنطقة المحيطة بالمصدر المائي الجوفي أو السطحي، ويتم تشجير حزام من الغطاء النباتي لمسافة 100 متر غالباً يحيط بالمصدر المائي، ويمنع ضمن هذا الحزام مزاولة أي نشاط بشري يسبب التلوث للمصدر المائي.

ب. المنطقة الوسطى: وتحيط بالمنطقة الداخلية على شكل حزام بحدود 500م، أو تحدد هذه المنطقة بخط الخمسين يوماً، وهي الفترة الزمنية التي تحتاجها المياه لكي تصل منها إلى المصدر المائي، وقد حددت منظمة الصحة العالمية مدة الخمسين يوماً هذه لأن البكتيريا والفيروسات خلال هذه الفترة الزمنية لترشح في التربة وتلاشى، كما تحلل المواد العضوية القابلة للتحلل خلال هذه الفترة، ولا يسمح في هذه المنطقة بإقامة المنشآت وأعمال التعدين والمحاجر.

ج. المنطقة الخارجية: وتحيط بالمنطقة الوسطى بمسافة نحو 200 متر ويسمح بإقامة المنشآت العمرانية والصناعية بشرط وجود شبكة تصريف صحي تعمل بشكل جيد، ولا يسمح بتخزين النفايات ولا إنشاء محطات المحروقات. ويتم تحديد هذه المناطق ومساحتها بعد إجراء دراسات كافية من الناحية الجيولوجية والطبوغرافية وحركة المياه السطحية والجوفية وطبيعة الاستعمال وكل حالة على انفراد.

أولاً: المصادر العربية:

- ادم، كوركيس عبد الله (ترجمة 1988)، التلوث البيئي، جامعة البصرة، البصرة.
- التميمي، كامل مهدي (ترجمة 1994)، بايولوجيا التلوث، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد.
- تقرير القمة العالمية المعنية بالتنمية المستدامة: جوهانسبرج، جنوب أفريقيا، 26 آب/أغسطس – أيلول/سبتمبر 2002 (منشورات الأمم المتحدة) الفصل الأول، القرار 1، المرفق.
- تقرير الاجتماع الحكومي الدولي الأول لاستعراض تنفيذ برنامج العمل العالمي لحماية البيئة البحرية من الأنشطة البرية، مونتريال، كندا، تشرين الثاني/نوفمبر 2001 (برنامج الأمم المتحدة للبيئة/برنامج العمل العالمي IGR.1 والتصويب 1).
- تقرير المؤتمر الدولي المعني بالتمويل من أجل التنمية، مونتيري، المكسيك، 18 – 22 آذار/مارس 2002 (منشورات الأمم المتحدة) الفصل الأول، القرار 1، المرفق.
- الراوي، محمد عمار وعبد الرحيم محمد عشير (ترجمة 1989)، التلوث البيئي، جامعة بغداد، بغداد.
- ربيع، عادل مشعان وربييع، هادي مشعان وربييع، احمد محمد (2006)، التربية البيئية، دار عالم الثقافة، عمان.
- زكي، شويكار (ترجمة 1996)، المياه في مواجهة الخطر ومستقبل يسوده الفقر: تدهور النظم البيئية للمياه العذبة، الدار الدولية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- السعدي، حسين علي (2002) علم البيئة والتلوث، جامعة بغداد، بغداد.

- السعدي، حسين علي (1998)، تلوث البيئة المائية في العراق، مجلة أبحاث البيئة والتنمية المستدامة.
- الصالح، فؤاد (1997)، التلوث البيئي (أسبابه، أخطاره، مكافحته)، سورية.
- صالح، قيصير نجيب وسهيله عباس الدباغ (ترجمة 1984)، علم البيئة ونوعية بيئتنا، جامعة الموصل، الموصل.
- عبد الجواد، احمد عبد الوهاب (2001)، تلوث المياه العذبة، دائرة المعارف البيئية، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة.
- علي، لطيف حميد (1987) التلوث الصناعي: المصادر، كيميائ التلوث، طرق السيطرة، جامعة الموصل، الموصل.
- العمر، منى عبد الرزاق، (2000)، التلوث البيئي، دار وائل للنشر، عمان.
- محمود، طارق احمد (1974)، التلوث (مختارات من البحوث التي القيت في ندوة التلوث آثاره وأخطاره وطرق الوقاية منه في العالم العربي)، القاهرة.
- مولود، بهرام خضر وحسين، علي السعدي وحسين احمد شريف الاعظمي (1991) علم البيئة والتلوث، جامعة بغداد، بغداد.
- يونس، شفيق محمد (1999)، تلوث البيئة، دار الفرقان للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

ثانياً: المصادر الأجنبية:

- Algarni ,S.M. (2005). Biosorption of lead by gram-ve capsulated and non -capsulated bacteria. Water Sa. 31(3).
- Amir, S. and J. Hyman, (1993). Measures of ecosystem health and integrity. Water Sci. and Techno.27:481 – 488.
- Anderson.J.M.(1981).Ecology for Environmental sciences. Edward Arnolds . London
- Arica, M.Y. ,Bayramoglu,G.,Yilmaz, M.,Bektas,S. and Genc, O. (2004) .Biosorption of Hg +2 ,Cd+2 and Zn+2 by Ca-alginate and immobilized wood-rotting fungus *Funalia trogii* . J. Hazardous materials . 109:191-199.
- Brooks, G., Butel, J., and Morse, S. (2007). Jawetz, Melnick, & Adelberg's Medical microbiology , 24th ed. McGraw-Hill companies, Inc. USA.
- Gerardi, M. (2006). Waste water bacteria. John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
- Gerardi, M. and Zimmerman, M. (2005). Waste water pathogens. John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
- Guangyu ,Y . and Thiruvengkatacheri ,V . (2003) .Heavy metals removal from aqueous solution by fungus *Mucor rouxii* . Water Res : 37(18) :4486-4496 .
- Harrison,R.M.(1982).Pollution:Causes ,Effects and Control .Royal Society of Chemistry. Special Publ.(44).Whitstable Litho Ltd.UK.
- Hogg, S. (2005). Essential microbiology . John Wiley & sons, Inc.Chichester, England
- Hussein, H., Ibrahim, S. F., Kandeel, K. and Moawad, (2004). Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas* sp. Electron . J . Biotechnol . 7(1).
- Jurkevitch, E. (2007). Predatory prokaryotes biology, ecology and evolution. Spriger-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kang , S . Y . , Lee , J . U . and Kim , K . W . (2005). Metal removal from wastewater by bacterial sorption

- :kinetics and competition studies . Enviov . J . Technol . 26 (6):615- 624 .
- Kolwzan, B. , Adamiak, W., Grabas, K., and Pawelczyk, A. (2006). Introduction to environmental microbiology. Oficyna wydawnicza politechniki wroclawskiej Wroclaw.
 - Nester , E . , Anderson , O . Robert , J . Pearsall , N . and Nester , M . (2001) . Microbiology ahuman perspective 3rd ed . . Mc Graw –Hill Education . NewYork
 - Percival , S . , Chlamers, R., Embrey, M., Hunter, P., Sellwood, J., and Wyn-jones, P. (2004). Microbiology of waterborne diseases. Elsevier academic press, New York.
 - Pommerville, C. (2006). Alcamo's fundamentals of microbiology 8th ed. Jones & Bartlett.
 - Sigeo, D. (2005). Freshwater microbiology biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment . John Wiley & sons, Inc. New Jersey.
 - Volesky, B. (2003). Sorption and biosorption Br-sorbex, Inc., St. Lambert, Montreal, Canada.

التلوث المائي

مصادره . مخاطره . معالجته

المؤلف
عادل مشعان ربيع

المؤلف
حارث جبار فهد



التلوث المائي

مصادره .

مخاطره .

معالجته .

Bibliotheca Alexandrina



1213358

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الأون-عمان - جسر الملك - في المنطقة - جميع المديريات التجارية - الهاتف: 8 463 2736
خاوي: 79 5651920 62 - ص.ب 8244 الجزء البريدي 11121 جبال الحسين الشامي
الأردن - عمان - الجبلية الأردنية - المكتبة رانيا الميناء - مقابل آية الزهد - جميع زعماء بصيرة التجارية

www.muj-arabi-pub.com

E-mail: Moj_pub@hotmail.com